Deutscher Bundestag
11. Wahlperiode

Drucksache 11/5425 (neu)

Sachgebiet 751

Antwort

der Bundesregierung

auf die Große Anfrage des Abgeordneten Dr. Daniels (Regensburg) und der Fraktion DIE GRÜNEN
— Drucksache 11/4561 —

Kernfusion

Der Bundesminister für Forschung und Technologie hat mit Schreiben vom 18. Oktober 1989 die Große Anfrage namens der Bundesregierung wie folgt beantwortet:

Vorbemerkung

Die Bundesregierung betrachtet nach wie vor eine sichere, umweltgerechte, ressourcenschonende Energieversorgung zu international wettbewerbsfähigen Bedingungen als Ziel ihrer Energiepolitik.

Ein wichtiger Beitrag, insbesondere für die künftige Versorgungssicherheit, ist, neben der Weiterentwicklung erneuerbarer Energiequellen und der Reaktor-Technologie, die Erschließung neuer Energiequellen, zu denen die kontrollierte Kernfusion zählt, um langfristig alle heute bekannten Optionen für eine Diversifizierung und Sicherung unserer Energieversorgung zur Verfügung zu haben. Die Bundesregierung befindet sich mit dieser Einschätzung der Kernfusion in Übereinstimmung mit allen großen Industrienationen in Ost und West. Die Entwicklung der kontrollierten Kernfusion wird noch eine Reihe von Jahren dauern; über ihre kommerzielle Nutzung ist bis auf weiteres nicht zu entscheiden. Es kommt jetzt darauf an, als nächstes Ziel einen Versuchsreaktor vorzubereiten, der möglicherweise in internationaler Kooperation erstellt werden kann, um mit einem brennenden, sich selbst erhaltenden Plasma die Möglichkeit der Energiegewinnung aus der Verschmelzung von leichten Wasserstoffkernen zu demonstrieren. Hierbei ist zunächst der Schritt zur Bestätigung der physika-

lischen Parameter und zur Erprobung technologischer Komponenten wichtig, so daß in einem Demonstrationsreaktor, der in etwa drei Jahrzehnten gebaut werden kann, eine Energiegewinnungsanlage als Prototyp zur Verfügung steht.

Die bisherigen Untersuchungen, die auf den Beweis des physikalischen Prinzips ausgerichtet sind, sind im wesentlichen noch der Grundlagenforschung zuzurechnen. Eine Bewertung der physikalischen und technischen Probleme ist daher nur schrittweise auf dem jeweiligen Stand der Kenntnisse möglich. Das System wird so weiterentwickelt, daß Umwelt- und Sicherheitsgesichtspunkte berücksichtigt werden und einer späteren Nutzung der Kernfusion nicht entgegenstehen.

Seit Beginn der 60er Jahre wird die Forschung und Entwicklung in diesem Bereich in einem gemeinsamen europäischen Programm vorangetrieben, das alle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im europäischen Verbund und in arbeitsteiliger Kooperation durchführt. Das Programm ist eines der besten Beispiele einer langjährigen europäischen Integration und Vorbild für ein erfolgreiches Zusammenwachsen nationaler Anstrengungen, bei dem jedem Teilnehmerstaat die gesamten Erkenntnisse aller Mitgliedstaaten zur Verfügung stehen und das damit die bestmögliche Nutzung der eingesetzten Ressourcen ermöglicht. Mit einem nationalen jährlichen Aufwand von rd. 200 Mio. DM erhalten wir Ergebnisse von Anstrengungen, die in Europa mit rd. 900 Mio. DM finanziert werden. Die Zusammenarbeit gipfelt bisher in dem gemeinsamen europäischen Versuch, dem „Joint European Torus" (JET), der zum weltweit führenden Experiment geworden ist.

Die Bundesregierung betrachtet die kontrollierte Kernfusion als eine Option für die künftige Energieversorgung, welche gegenüber den bisher entwickelten Versorgungssystemen eine Reihe von günstigen Eigenschaften aufweist, z. B. das Fehlen eines Brennstoffreservoirs im Plasmakern, das einen unkontrollierten Leistungsanstieg verursachen könnte, das Fehlen langlebiger radioaktiver Reaktionsprodukte, die nahezu unbegrenzte Verfügbarkeit der Ressourcen, ein ausschließlich interner Kreislauf des als Brennstoff benötigten Tritiums und eine wegen geringerer Leistungsdichte leicht zu beherrschende Nachwärmeabfuhr. Die Sicherheits- und Entsorgungsfragen des radioaktiven Tritiums und der aktivierten Strukturmaterialien sind als lösbar anzusehen, da sie ein relativ niedriges biologisches Gefährdungspotential haben und die Möglichkeit gesehen wird, durch geeignete Materialentwicklung Menge und Langzeitaktivität besonders belasteter Komponenten ganz erheblich zu vermindern bzw. sie in großen Mengen zu recyclieren.

Da die Großgeräte der Grundlagenforschung, wie in der Schwerionenphysik, der Hochenergiephysik und der Plasmaphysik, wegen ihrer Dimensionen hohen finanziellen Aufwand bedingen, sind solche Anlagen nur im europäischen, möglichst sogar im internationalen Verbund zu planen, zu bauen und zu betreiben. Die Bundesregierung unterstützt daher nach Kräften die weltweiten Anstrengungen, das nächste Experiment in einem Zusammen-

wirken der weltweit wichtigsten Fusionsprogramme unter Beteiligung von Japan, der UdSSR und der USA durchzuführen. Sie hat am Sitz der Arbeitsgruppe für die Planung des nächsten europäischen Experiments (NET) im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Möglichkeiten geschaffen, daß Experten aller vier Programme den gemeinsamen Entwurf des nächsten Schritts eines Internationalen Thermonuklearen Experimentellen Reaktors (ITER) erarbeiten und damit alle weltweit verfügbaren Kenntnisse einbringen.

1. *Zur forschungs- und energiepolitischen Vorgehensweise der Bundesregierung*

In den Jahren 1983 bis 1988 wurden ca. 1 045 Mio. DM aus dem BMFT-Etat für die Fusionsforschung ausgegeben. Dies entspricht ca. 10 Prozent der in diesem Zeitraum getätigten BMFT-Gesamtaufwendungen im Bereich „Energieforschung und Energietechnologie". Seit 1974 sind die Aufwendungen aus dem BMFT-Haushalt von ca. 70 Mio. DM kontinuierlich auf ca. 200 Mio. DM (1989) gestiegen und sollen nach den derzeitigen Planungen der Bundesregierung noch weiter ansteigen. Damit haben die Fusionsaufwendungen die gleiche Größenordnung eingenommen wie für die „regenerative und rationelle Energienutzung" (1989: ca. 250 Mio. DM) sowie für die „Energieforschung bei fossilen Energieträgern" (210 Mio. DM). Einzig die Aufwendungen für die Kernspaltung haben mit ca. 850 Mio. DM (1989) einen deutlich höheren Anteil am gesamten Energieforschungsetat.

1. Laut dem „Bundesbericht Forschung 1988" ist das bundesdeutsche Fusionsprogramm „mehrfach u. a. durch ein Gremium unabhängiger Wissenschaftler begutachtet worden".

   Welche Begutachtungen, wie sie im „Bundesbericht Forschung 1988" angesprochen sind, wurden in den vergangenen fünf Jahren von wem diesbezüglich durchgeführt (Autoren, Titel bzw. Aktenzeichen, Datum)?

Das deutsche Kernfusionsprogramm ist Bestandteil des europäischen Fusionsprogramms. Dieses wurde bisher zweimal von Gutachterkommissionen bewertet. Das Ergebnis dieser Bewertung ist in folgenden Berichten veröffentlicht:

- REPORT OF THE EUROPEAN FUSION REVIEW PANEL,
  Commission of the European Communities,
  SEC (81) 1933, June 1981
- REPORT OF THE EUROPEAN FUSION REVIEW PANEL II,
  Commission of the European Communities,
  EUR FU BRU XII – 213/84, March 1984

Die Gutachter der ersten Kommission waren:

1. Vorsitzender: Prof. K.H. Beckurts
   Mitglied des Vorstandes der Siemens AG
2. Sir John Adams
   Geschäftsführender Generaldirektor CERN (bis Dezember 1980)
3. Prof. C. Bernardini
   Professor für Physik, Universität Rom
4. Mr. C. Bienvenu
   Beigeordneter Direktor für Studien und Forschung Electricité de France

5. Mr. J.R. Goens
   Berater im Büro der CEN/SCK
   Vorstandsmitglied von Eurodif S.A.
   Vizepräsident der S.A. Belgonucleaire
6. Prof. H.L. Jordan
   Vorstandsvorsitzender der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- u. Raumfahrt (DFVLR)
7. Sir John Hill
   Vorsitzender UKAEA bis Februar 1981
   Vorsitzender British Nuclear Fuels Ltd.
   Vorsitzender Radiochemical Centre Ltd.
8. Mr. L.H. Rey
   Geschäftsführender Vorsitzender der National Swedish Board for Energy Source Development bis März 1981
9. Prof. G. Stoppini
   Mitglied des Vorstandes von CNEN
   Professor für Elektrodynamik, Universität Pisa
10. Prof. J. Teillac
    Hoher Kommissar für Atomenergie Frankreich
    Vorsitzender des JET-Rates
    Vorsitzender des CERN-Rates
11. Prof. H.G. van Bueren
    Vorsitzender des Beratungsausschusses für Wissenschaftspolitik, Den Haag
    Professor für Astrophysik, Universität Utrecht

Die Gutachter der zweiten Kommission waren:

1. Vorsitzender: Prof. K.H. Beckurts
   Mitglied des Vorstandes der Siemens AG
2. Prof. N. Cabibbo
   Präsident des Nationalen Instituts für Nuklearphysik/Italien
3. Sir Alan Cottrell, F.R.S.
   Master of Jesus College, Cambridge
4. Prof. J. Teillac
   Hoher Kommissar für Atomenergie Frankreich
   Vorsitzender des JET-Rates
   Vorsitzender des CERN-Rates
5. Prof. H.G. van Bueren
   Vorsitzender des Beratungsausschusses für Wissenschaftspolitik, Den Haag
   Professor für Astrophysik, Universität Utrecht

2. Wer waren dabei die „unabhängigen Wissenschaftler", wer die anderen?

Alle Kommissionsmitglieder sind als unabhängig einzustufen.

3. Auf welche weiteren wissenschaftlichen Grundlagen (Gutachten, Analysen, Berechnungen bzw. deren Auswertung, wie beispielsweise Sitzungsprotokolle), insbesondere auch von Wissenschaftlern außerhalb des Kreises der Fusionsforscher, stützt die Bundesregierung ihre bisherigen bzw. aktuellen Entscheidungen für die Kernfusionsförderung?

Das deutsche Fusionsprogramm ist Bestandteil des europäischen Fusionsprogramms. Dieses gemeinsame Programm wird durch eine Reihe von Studien und Ausarbeitungen gestützt, die in den Entscheidungsprozeß eingegangen sind. Die wichtigsten Dokumentationen hierzu sind:

Criteria for the Assessment of European Fusion Research (STOA FUSION Project Vol I u. II May 1988 EP-STOA – F2)

Veröffentlichungsbände der Konferenzen über Kontrollierte Fusion und Plasmaphysik der Europäischen Physikalischen Gesellschaft (jährlich)

Veröffentlichungsbände der IAEA-Konferenzen über Plasmaphysik und Kontrollierte Kernfusion (2jährig)

The European Programme for Controlled Nuclear Fusion EUR 6269 EN/1986

Hierzu werden Sachstandsberichte (Programme Progress Reports) veröffentlicht.

Veröffentlichungsbände des European Symposium on Fusion Technology (2jährig)

Jahres- und Halbjahresberichte der Assoziationen:
IPP/EURATOM, KFA/EURATOM und KfK/EURATOM

Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von Tagungen zu einzelnen physikalischen und technologischen Fragen, deren Ergebnisberichte ausgewertet werden.

4. Gab bzw. gibt es hierbei unterschiedliche wissenschaftliche Meinungen zum Fusionsprogramm, insbesondere zu Schlüsselfragen, und wenn ja, wie wurden diese von der Bundesregierung berücksichtigt?

Es entspricht dem Wesen wissenschaftlicher Forschung, daß eine breite Meinungsvielfalt nicht nur zu einzelnen Fragen, sondern zum Forschungsansatz und zum Gesamtthema besteht und in die Diskussion eingeht. Die Fachleute veröffentlichen ihre unterschiedlichen Ansichten und diskutieren sie auf Fachtagungen und Kongressen. Eine erfolgreiche Forschung braucht diese Diskussion und lebt von ihr. Die Ergebnisse werden von der Bundesregierung bei ihrer Zustimmung zu den Forschungsprogrammen der Großforschungseinrichtungen und der EG-Kommission berücksichtigt.

5. Anhand welcher Kriterien wurde und wird die Unabhängigkeit der Gutachter bewertet?

Die Gutachter für das europäische Fusionsprogramm werden von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften berufen. Die Berufung erfolgt vor dem Hintergrund einer breiten interdisziplinären Zusammensetzung und hoher fachlicher Kompetenz. Dabei wird berücksichtigt, daß die Gutachter nicht Nutznießer des zu begutachtenden Programms sind.

6. Wer war und ist innerhalb des BMFT für die Auswahl von Gutachtern verantwortlich?

Das Kernfusionsprogramm ist ein europäisches Programm und wird durch die Kommission der Europäischen Gemeinschaften gesteuert. Die Auswahl der Gutachter für das gemeinsame europäische Programm obliegt daher der Kommission.

7. Kann und wird die Bundesregierung die Gutachten sowie die weiteren Entscheidungsgrundlagen der Öffentlichkeit zur Verfügung stellen?

Alle Gutachten und alle Berichte der Kommission und des Europäischen Parlaments wurden veröffentlicht. Alle wissenschaftlichen Berichte werden in entsprechenden Fachzeitschriften und Publikationsreihen veröffentlicht und sind damit allgemein zugänglich.

8. Stimmt die Bundesregierung Aussagen zu, wonach es derzeit noch völlig offen ist, ob ein Fusionsreaktor jemals kostengünstig Strom erzeugen können wird?

Die kostengünstige Stromerzeugung ist Zielsetzung für den Betrieb von Fusionsreaktoren. Das Potential hierzu ist gegeben. Die laufende Entwicklung des Fusionsreaktors ist heute noch weitgehend der Grundlagenforschung zuzurechnen. In diesem Entwicklungsstadium ist der Nachweis eines kostengünstigen Betriebes noch nicht sicher zu erbringen. Dies wird erst in einem optimierten Prototypreaktor möglich sein.

9. Stimmt die Bundesregierung zu, daß Entscheidungen über die Forschungsfinanzierung dieser Technologie sich auf nachvollziehbare und möglichst umfassende Kosten-Nutzen-Prognosen abstützen sollte?

10. Hat die Bundesregierung solche Kosten-Nutzen-Analysen durchführen lassen, bzw. sind derartige Untersuchungen in o. g. Gutachten enthalten?

Kosten-Nutzen-Prognosen für eine Technologie, deren Realisierung in weiter Zukunft liegt, sind nur in begrenztem Umfang als Beurteilungsgrundlage geeignet. Vielmehr ist das technisch-wirtschaftliche Potential zu bewerten und dem erforderlichen Entwicklungsaufwand gegenüberzustellen. Bei der Kernfusion ist dieses Potential so hoch (vgl. Frage 1.34), daß sich die Aufwendungen voll rechtfertigen.

11. Welche sonstigen methodischen Vorgehensweisen hat die Bundesregierung zur Entscheidungsfindung herangezogen?

15. Nach welcher Methode wertet und wichtet die Bundesregierung ggf. vorhandene verschiedene Analysen und Analyseergebnisse bei der Entscheidungsfindung über die laufende und zukünftige Finanzierung der Fusionsforschung?

Solange die Kernfusion durch ein sich selbst erhaltendes, brennendes Plasma zwar theoretisch, jedoch experimentell noch nicht nachgewiesen werden konnte, sind die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten weitgehend der Grundlagenforschung zuzurechnen. Der technische Fortschritt beim gemeinsamen europäischen Experiment JET rechtfertigt die bisherigen Anstrengungen. So hat man sich nach 20jähriger Entwicklungszeit dem für das thermonukleare Brennen notwendigen Zündkriterium, dem Mindestwert für das Produkt von Temperatur, Dichte und Einschlußzeit, von mehr als vier Größenordnungen jetzt bis auf eine Größenordnung genähert.

Gerade dieser gewaltige Schritt im wissenschaftlich-technischen Bereich ermutigt, die eingeschlagene Entwicklungsstrategie fortzusetzen.

Die Entscheidung über das gemeinsame europäische Fusionsprogramm liegt beim Rat der Europäischen Gemeinschaften, der das jeweilige Fusionsprogramm verabschiedet. Dabei gehen die Meinungen aus Wissenschaft und Politik der EURATOM-Mitgliedsländer ein. Die Entscheidungsfindung erfolgt somit nach einem pluralistischen Verfahren.

12. Welche Analysen zu den Kriterien „Umweltverträglichkeit", „langfristige Versorgungssicherheit", „Wirtschaftlichkeit (inkl. Entwicklungskosten)", „Sozialverträglichkeit", „Vorhandensein von großen Schadenspotentialen" und „Vorhandensein von Mißbrauchsmöglichkeiten" liegen der Bundesregierung vor (Autoren, Titel, Datum) betreffend die Nutzung der
    - Kernfusion,
    - Kernspaltung und
    - Sonnenenergie?

Der Bundesregierung liegen die Analysen vor, die der als Anlage beigegebenen Literaturliste zu entnehmen sind. Hierbei handelt es sich fast ausschließlich um Studien und Analysen zur Kernspaltung und/oder zu den erneuerbaren Energiequellen.

Für den Bereich der Kernfusion ist jedoch vorab auf die laufenden Arbeiten im Rahmen des Programms „Technikfolgenabschätzung" hinzuweisen. Der Stand der Bearbeitung einzelner Themen wurde kürzlich in Beantwortung der Großen Anfrage zu diesem Gebiet (Drucksache 11/4323 neu) detailliert dargestellt. Die hier relevanten Arbeiten sind:

- „Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit der kontrollierten Kernfusion"; bearbeitet durch IPP – Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching bei München
- Bedingungen, Schwierigkeiten und Ansätze zur Verbesserung der Kommunikation über technologische Risiken; bearbeitet durch Kernforschungsanlage Jülich, Programmgruppe Technik und Gesellschaft

13. Welche vergleichenden Kosten-Nutzen-Prognosen zu den Energiequellen Spaltung, Fusion und Sonne liegen der Bundesregierung vor (Autoren, Titel, Datum)?

14. Hat die Bundesregierung Analysen über den zeitlichen und finanziellen Aufwand sowie den Innovationsertrag vergleichbarer technischer Entwicklungen vornehmen lassen, wenn ja, welche (Autoren, Titel, Datum)?

Vergleichende Kosten-Nutzen-Analysen für die Energiequellen Kernspaltung, Kernfusion und Sonne sind nicht bekannt. Sie könnten bei dem unterschiedlichen Entwicklungsstand dieser Technologien auch nicht zu belastbaren Aussagen führen.

Zu Einzelbereichen sind folgende Studien zu benennen: C.J. Winter, J. Nitsch (Hrsg.): Wasserstoff als Energieträger: Technik, Systeme, Wirtschaft, Springer Verlag 1986

PROGNOS AG, Europäisches Zentrum für angewandte Wirtschaftsforschung Basel:
Rationelle Energieverwendung und -erzeugung ohne Kernenergienutzung: Möglichkeiten sowie energetische, ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen, 1987

Ad-hoc-Ausschuß beim BMFT „Solare Wasserstoffenergiewirtschaft", Bonn, April 1988

Ad-hoc-Ausschuß beim BMFT „Solartechnik in Großforschungseinrichtungen (GFE)", Zwischenbericht Dezember 1988, Statusbericht Juli 1989

Der Bundesregierung liegen zu den Fragen 1.12 bis 1.14 alle Analysen und Prognosen vor, die derzeit über Datenbanken weltweit verfügbar sind.

16. Laut Aussagen aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe lassen auch die geplanten experimentellen Anlagen Next European Torus (NET, geplanter Baubeginn: 1994) und Demonstrationsreaktor (DEMO, 2008) „nur begrenzte Schlüsse auf die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen einer Einführung von Kernfusion in die Energiewirtschaft zu" (Quelle: AGF-Forschungsthemen, Heft 1, 1988, FUSION).

    Wie bewertet die Bundesregierung die Tatsache, daß ein Vielfaches eines derzeitigen bundesdeutschen Jahresgesamtforschungsetats für Energieforschung und Energietechnologie für die Erzielung „begrenzter Schlüsse" und dies erst in 20 Jahren aufgebracht werden soll?

Die durch NET zu gewinnenden Aussagen beziehen sich auf das physikalische Prinzip und auf die Demonstration von Schlüsseltechnologien. Der Folgeschritt eines Demonstrationsreaktors (DEMO) soll zeigen, daß in einer Fusionsanlage mit ausreichendem Wirkungsgrad Strom erzeugt werden kann. Darüber hinaus wird für eine Nutzung in der Energiewirtschaft Betriebserfahrung zur Verfügbarkeit und Standzeit benötigt, die in einem kommerziellen Prototypreaktor zu erbringen ist.

Die Bundesregierung ist bestrebt, physikalische Großprojekte der Teilchen- und Plasmaphysik aus Kostengründen in internationaler Kooperation zu betreiben. Im Bereich der Plasmaphysik wird mit einem jährlichen deutschen Aufwand von rd. 200 Mio. DM das

gesamte Wissen der 12 Partnerstaaten der EG einschließlich Schwedens und der Schweiz erworben. Der „wissenschaftlich-technische Ertrag" entspricht mehr als dem Vierfachen der nationalen Aufwendungen. Dies ist ein Beispiel für die hohe Effizienz des Einsatzes von Forschungsmitteln in Europa.

17. Wie bewertet die Bundesregierung hierbei, daß in der nächsten Entwicklungsphase, der sog. Technik-Phase, die notwendig werdenden Aufwendungen noch um ein Vielfaches gegenüber den heutigen Kosten der „Physik-Phase" steigen werden?

18. Kann die Bundesregierung diese Kostensteigerungen quantifizieren?

Die nächste Entwicklungsphase der Fusionsforschung ist auf den Bau und Betrieb des NET- bzw. ITER-Experiments ausgerichtet. Hierfür existieren bisher nur rohe Kostenschätzungen. Danach werden die Baukosten für NET etwa achtmal so hoch geschätzt wie die für JET. Da der Aufwand für JET etwa ein Viertel des derzeitigen europäischen Fusionsprogramms ausmacht, bedeutet dies einen geschätzten finanziellen Anstieg beim europäischen Fusionsprogramm auf das Zwei- bis Dreifache.

Vorläufige Überlegungen gehen in folgende Richtung: Bei einer europäischen Finanzierung des Projekts NET (ähnlich wie bei JET) würden sich die direkten deutschen jährlichen Aufwendungen für die Fusionsforschung verdoppeln, sofern das Projekt in der Bundesrepublik Deutschland gebaut würde. Dabei würden die Mehraufwendungen jedoch zum Teil durch Rückflüsse aus Einnahmen kompensiert werden durch z. B. Mehrwertsteuer, Entwicklung von Infrastruktur, Zulieferungen kleiner und mittlerer Unternehmen, Dienstleistungen. Bei einem Standort außerhalb der Bundesrepublik Deutschland wäre mit einem finanziellen Mehraufwand von 10 bis 20 Prozent zu rechnen.

Sollte der nächste Schritt im Rahmen der ITER-Kooperation verwirklicht werden können, wäre eine noch breitere Kostenverteilung mit entsprechenden Kostensenkungen für den deutschen Anteil möglich.

19. Wann glaubt die Bundesregierung abschließend den Sinn und Nutzen der aufgewendeten Forschungsmittel bewerten zu können?

22. Wie bewertet die Bundesregierung Schätzungen, wonach bis 2050 global ca. 150 Mrd. DM aufgebracht werden müssen, bevor entschieden werden kann, ob kommerzielle Fusionskraftwerke Strom werden liefern können?

Die gesamte Höhe der aufzuwendenden Entwicklungskosten und eine abschließende Bewertung des Nutzens ist erst möglich, wenn Erfahrungen mit dem erfolgreichen Betrieb des Demonstrationsreaktors vorliegen und damit dann die Kosten für kommerzielle Fusionsreaktoren abschätzbar werden. Eine entsprechende Kostenschätzung erfolgt mit jeder Überprüfung des europäischen Programms und wird dabei zunehmend genauer.

20. Schließt sich die Bundesregierung Aussagen an, wonach die Entwicklung neuer Werkstoffe von grundlegender Bedeutung für die Realisierung des Fusionskonzeptes ist?

Derzeit sind die verfügbaren Werkstoffe für die Realisierung des Fusionsreaktors von grundlegender Bedeutung. Ob es der Entwicklung neuer oder nur der Modifikation vorhandener Werkstoffe bedarf, ist Gegenstand intensiver, laufender Forschungsprogramme. Insgesamt handelt es sich um eine Optimierungsfrage, bei der zum Teil widersprechende Anforderungen (z. B. niedrige Erosionsrate, niedrige Kernladungszahl, hohe Neutronenstandfestigkeit, hohe Wärmeleitfähigkeit, hohe mechanische und thermische Stabilität) zu einem insgesamt technisch akzeptablen Kompromiß zusammengeführt werden müssen.

21. Wie bewertet die Bundesregierung Aussagen aus dem AGF-Programmausschuß Kernfusion, wonach die „systematische Entwicklung eines optimalen Werkstoffs" für den Kernfusionsbetrieb „gegenwärtig finanziell nicht darstellbar ist" (Quelle: AGF-Forschungsthemen, Heft 1, 1988, FUSION, Seite 27)?

Das Zitat ist weder wortgetreu noch sachgerecht wiedergegeben. Es bezieht sich auf die Entwicklung eines völlig neuartigen Werkstoffes mit idealen Eigenschaften. Eine solche Vorgehensweise wäre unüblich und zu teuer. Wie schon die Antwort zur vorhergehenden Frage erläutert, geht die Entwicklung neuer Werkstoffe in der Regel von bereits existierenden Werkstoffen aus. Diese werden unter den spezifischen Anwendungsbedingungen wie z. B. einer zyklischen, mechanisch-thermischen Belastung getestet und ggf. weiterentwickelt.

23. Teilt die Bundesregierung die Ansicht, daß aufgrund der hohen Erfolgsrisiken eine größere finanzielle Beteiligung der Industrie während der langwierigen Entwicklung nicht zu erwarten ist?

Eine direkte finanzielle Beteiligung der Industrie ist in der Phase grundlegender Untersuchungen nicht zu erwarten. Jedoch ist das Engagement der Industrie als Entwickler und Lieferant von Komponenten und Anlagen für die Versuchsreaktoren NET und den nachfolgenden Demonstrationsreaktor DEMO von großer Bedeutung, da Entwicklungs- und Fertigungstechnik mit neuen Anforderungen rechtzeitig eingeleitet werden müssen. Der Bau eines DEMO erscheint aus heutiger Sicht ohne finanzielle Beteiligung der Industrie nicht realisierbar.

24. Hält die Bundesregierung auch noch andere Fusionskonzepte als den Tokamak parallel für finanzierbar, beispielsweise die sog. kalte Fusion mittels Helium 3?

Wegen seiner spezifischen Eigenschaften hält die Bundesregierung die Entwicklung des Stellarators parallel zum Tokamak für sinnvoll. Die hierfür erforderlichen, zusätzlichen Mittel sind gering, und Ergebnisse der Tokamak-Entwicklung lassen sich auf

den Stellarator übertragen. Wegen des inhärent kontinuierlichen Betriebes würde beim Stellarator das Problem der zyklischen mechanisch-thermischen Belastungen von vornherein nicht auftreten (vgl. Frage 1.21).

Andere Konzepte des magnetischen Einschlusses (wie Spiegelmaschine, Reversed-Field-Pinch o. a.) werden in der Bundesrepublik Deutschland nicht bearbeitet.

Die derzeitigen Entwicklungen der deutschen und weltweiten Fusionsforschung mit magnetischem Plasmaeinschluß sind auf die Verwendung der D-T-Reaktion im Fusionsreaktor ausgerichtet. Dieselben Arbeiten zielen auch auf eine evtl. Nutzung der D-^{3}He-Reaktion ab. Die für die Zündung erforderlichen Plasmaparameter sind jedoch schwerer erreichbar als bei der D-T-Reaktion. Zudem ist das ^{3}He (Helium-3) nur beschränkt verfügbar. Zum Trägheitseinschluß wird in der Bundesrepublik Deutschland lediglich Grundlagenforschung im Rahmen von Untersuchungen an Materien sehr hoher Energiedichte durchgeführt. Arbeiten zur sogenannten kalten Fusion (von Grundlagenforschung zur Myon-katalysierten Fusion abgesehen) werden nicht ausgeführt. Sie verspricht keine positive Leistungsbilanz.

25. Eine Realisierung kommerzieller Fusionskraftwerke wird von Experten frühestens in ca. 60 Jahren erwartet.

    Schließt sich die Bundesregierung weitergehenden Expertenaussagen an, daß ein „schnellerer Durchbruch angesichts der noch zu lösenden Probleme unmöglich ist" (Quelle: Perspektiven der Energieversorgung, Gutachten im Auftrag der Landesregierung von Baden-Württemberg, November 1987, Materialienband VI, Teil 2, Kernfusion)?

Die relativ lange Zeitspanne bis zur möglichen Realisierung kommerzieller Fusionskraftwerke ist durch das schrittweise Vorgehen bedingt.

Die einzelnen Schritte zur Lösung der physikalischen und technologischen Probleme, z. B. mit den Experimenten JET, NET und dem Demonstrationsreaktor DEMO, müssen nacheinander ausgeführt werden, um das Entwicklungsrisiko so gering wie möglich zu halten. Jeder Schritt benötigt etwa 20 Jahre. Ein schnellerer Durchbruch wäre mit wesentlich höherem Risiko und evtl. größeren Kosten verbunden. Wenn man das wissenschaftlich-technische und damit finanzielle Risiko einzugehen bereit wäre, den jeweils nächsten Schritt bereits konkret in Angriff zu nehmen, ehe weitgehend abgeschlossene Ergebnisse aus dem vorangegangenen Schritt vorliegen, ließe sich die Entwicklungszeit bestenfalls halbieren.

Diese prinzipiell langen Entwicklungsschritte legen uns heute ein hohes Maß an Verantwortung für die Durchführung der Fusionsforschung auf, damit diese Option einer Energiequelle für die nachfolgenden Generationen überhaupt verfügbar wird.

26. Kann die Bundesregierung ein generelles Scheitern der Bemühungen um die Realisierung kommerzieller Fusionskraftwerke ausschließen?

27. Hat die Bundesregierung ein objektiv nachvollziehbares „Instrumentarium" entwickelt, womit ein solches Scheitern frühzeitig, d. h. kostensparend, erkannt werden kann, wenn ja, welches?

28. Hat die Bundesregierung beispielsweise „Abbruchkriterien" (finanzieller und anderer Art) betreffend die zukünftige Fortschreibung der Fusionsforschung entwickelt, wenn ja, welche?

29. Wäre ein Abbruch der Fusionsforschung jederzeit denkbar, möglich bzw. realisierbar?

Ein generelles Scheitern der Bemühungen um die Realisierung kommerzieller Fusionskraftwerke ist beim augenblicklichen Entwicklungsstand der Fusionsforschung, die noch weitgehend der Grundlagenforschung zuzuordnen ist, nicht grundsätzlich auszuschließen. Ein Scheitern ist aber aus heutiger Sicht weder plausibel noch wahrscheinlich. Daher ist die Entwicklung eines besonderen Instrumentariums, wie beispielsweise für Großprojekte, hier nicht erforderlich. Abbruchkriterien für die Zukunft müssen ebenfalls nicht künstlich definiert werden. Sie würden sich automatisch ergeben, wenn die Forschung auf unüberwindbare physikalische Probleme treffen würde oder auf technische Schwierigkeiten, die nicht mit vernünftigen, langfristig wirtschaftlichen Maßnahmen zu lösen wären.

Ein Abbruch der Fusionsforschung wäre zwar prinzipiell denkbar, in Anbetracht der bisherigen stetigen Fortschritte aber nicht gerechtfertigt. Die Fusionsforschung in der Bundesrepublik Deutschland ist vertraglich in das europäische Programm eingebunden, und es bestehen internationale Verpflichtungen auf vertraglicher Basis im Rahmen der internationalen Energieorganisation (IEA) der OECD. Darüber hinaus besteht ein Regierungsabkommen zwischen EURATOM, der UdSSR, Japan und den USA über die Entwicklung eines Konzepts für ein internationales Fusionsexperiment ITER (Internationaler Thermonuklearer Experimenteller Reaktor).

30. Gibt es diesbezügliche Pläne zur Umorganisation der entsprechenden Forschungseinrichtungen?

Es gibt keine diesbezüglichen Pläne.

31. Welche Maßnahmen hat die Bundesregierung ergriffen, um unabhängig von den innerhalb der Fusionsforschung tätigen Wissenschaftlern fortlaufend, sachgerecht und nachvollziehbar von den Fortschritten aber auch Rückschlägen informiert zu werden?

Neben laufenden bilateralen Gesprächen zwischen den Forschern und dem Fachreferat des BMFT finden regelmäßig halbjährlich Sitzungen der Aufsichtsorgane der drei in diesem Bereich tätigen Großforschungseinrichtungen (IPP, KfK, KFA) statt. In den Zentren werden die Programme von externen, international besetzten Beiräten oder Lenkungsausschüssen gesteuert. Die Aufsichtsorgane lassen sich in mehrjährigem Abstand regelmäßig Sondergutachten erstellen. Über die Entwicklung des europäischen Programms wird jährlich in 3 Sitzungen des Beratenden Ausschusses

für das Fusionsprogramm beraten, an denen die Bundesregierung und alle im Programm zusammenarbeitenden europäischen Regierungen beteiligt sind. Eine Bewertung erfolgt durch Gutachterausschüsse im europäischen Rahmen. Über die Zusammenarbeit an dem gemeinsamen europäischen Experiment, dem Joint European Torus (JET) wird im Rahmen des JET-Rats entschieden, an dem ebenfalls alle Teilnehmerstaaten beteiligt sind. Die internationale Zusammenarbeit im Rahmen der IEA wird von einem Koordinierungsausschuß gelenkt, an dem die Bundesregierung als Mitglied teilnimmt. Die weltweite Zusammenarbeit der die vier großen Experimente tragenden Staaten bzw. Staatengruppen im Rahmen des ITER-Projekts werden von einem ITER-Rat gelenkt. Hierbei werden die europäischen Staaten von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften vertreten, die sich mit den dafür zuständigen Ausschüssen rückkoppelt. Auf diese Weise ist ein umfassender Informationsfluß gewährleistet.

32. Berücksichtigt die Bundesregierung bei ihrer Informationsbeschaffung, daß naturgemäß die mit der Kernfusion beschäftigten Wissenschaftler ein Interesse am Fortlaufen des Fusionsprogramms haben?

Die Bundesregierung ist sich solcher Aspekte bewußt und bezieht sie in ihre Bewertungen mit ein.

33. Wer dokumentiert bzw. präsentiert den Stand der Dinge gegenüber den Verantwortlichen im BMFT?

Eine entsprechende Dokumentation wird von den Vorständen bzw. wissenschaftlichen Direktoren der beteiligten Großforschungseinrichtungen jeweils zu den Sitzungen der Aufsichtsgremien vorgelegt.

34. Stimmt die Bundesregierung Aussagen zu, wonach das Energieversorgungspotential der Sonnenenergie und das der Kernfusion in etwa gleich groß einzustufen ist?

Das theoretische Potential der Sonnenenergie ist eine physikalische Größe, deren Wert in der Bundesrepublik Deutschland den derzeitigen Primärenergieverbrauch (PEV) um ein Vielfaches übersteigt.

Allein die auf die Fläche der Bundesrepublik Deutschland treffende Sonneneinstrahlung hat ein theoretisches Potential von rd. 250×10^{12} kWh = 900 EJ pro Jahr, was etwa dem 80fachen des derzeitigen Gesamtenergieverbrauchs (bei einem PEV von ca. 390 Mio. t SKE 1988 = 11,4 EJ) entspräche. Weltweit wird das theoretische Potential auf 1 Mio. $\times 10^{12}$ kWh = $3{,}6 \times 10^{6}$ EJ pro Jahr geschätzt, was etwa dem 10 600fachen des derzeitigen Weltgesamtenergieverbrauchs von ca. 11 500 Mio. t SKE = 338 EJ entspräche.

Das theoretische Potential der Kernfusion aus dem D-T-Prozeß wird maßgeblich von der Verfügbarkeit der eingesetzten Brennstoffe Deuterium und Tritium bestimmt. Deuterium ist im Meerwasser enthalten. Bei einem Gesamtvorrat von ca. 10^{13} t im Meer

und einem spezifischen Verbrauch von 0,07 $g/MW_{th} \cdot d$ ist der äquivalente Energievorrat aus Deuterium praktisch unerschöpflich. Tritium ist in der Natur nur in kleinen Mengen vorhanden und muß im Fusionsreaktor aus Lithium durch Neutronenreaktionen erbrütet werden. Die Weltlithiumvorräte begrenzen demnach die gewinnbare Energiemenge. Die gesamten Landvorräte an Lithium entsprechen etwa einem Energieäquivalent von 270 – 950 10^3 EJ, die Vorräte im Meerwasser etwa $5 \cdot 10^9$ EJ (1 EJ = 10^{18} J). Zum Vergleich: Der Weltjahresprimärenergiebedarf 1988 betrug ca. 338 EJ. Damit können die Energievorräte für die Fusion theoretisch als nahezu unerschöpflich bezeichnet werden.

Die oben genannten physikalischen Größen sagen jedoch nur wenig über die Möglichkeit der Nutzung von Sonnenenergie und Fusionsenergie aus. Entscheidend ist, ob deren theoretisches Potential auch technisch und zu wettbewerbsfähigen Bedingungen verfügbar gemacht werden kann. Insbesondere ist die Nutzung von Potentialen nicht sinnvoll, bei welchen der Energieaufwand für das „Ernten" höher ist als der Energieertrag.

Eine vergleichende Gegenüberstellung der Sonnenenergienutzung mit der des Kernfusionsprozesses hinsichtlich der technischen und letztlich wirtschaftlichen Nutzung müßte berücksichtigen, daß es sich hierbei um zwei grundsätzlich unterschiedliche Arten des Energieangebots insbesondere hinsichtlich der Leistungsdichte und der zeitlichen und örtlichen Verfügbarkeit handelt.

35. Wie begründet die Bundesregierung, daß für die Weiterentwicklung regenerativer Energien jährlich geringere Mittel vom BMFT zur Verfügung gestellt werden als für die Kernfusion?

Die Ausgaben des Bundesministeriums für Forschung und Technologie im Bereich erneuerbarer Energien seit 1982 bis einschließlich 1989 (Soll) belaufen sich auf 1,55 Mrd. DM. Im gleichen Zeitraum wurden mit 1,38 Mrd. DM rd. 170 Mio. DM weniger Mittel für die Fusionsforschung verausgabt. Diese summarische Betrachtung über einen größeren Zeitraum von 8 Jahren gleicht einzelne Jahresschwankungen in den Ausgaben aus und belegt, daß beide Forschungsbereiche in etwa gleicher Größenordnung gefördert wurden und werden. Die in der Fragestellung unterstellte Ungleichverteilung ist somit nicht belegbar.

Die intensivere Förderung der erneuerbaren Energien wird jedoch deutlicher, wenn man die Zahl der verfolgbaren Strategien vergleicht. Während die Fusionsforschung in nur einer Hauptlinie (Tokamak) und wenigen Nebenlinien verfolgt wird, erlaubt das Förderbudget für erneuerbare Energien in ganzer Breite viele Einzelansätze – ein Vorteil für die zahlreichen und häufig auf Kleinanwender zielenden Nutzungsmöglichkeiten der erneuerbaren Energiequellen.

36. Wie bewertet die Bundesregierung Aussagen, wonach die Stromerzeugung mit Hilfe von Sonnenenergie, beispielsweise durch Solarzellen, ökologisch verträglicher, sicherer, kostengünstiger sowie früher verfügbar sein wird als durch Fusionskraftwerke?

Die Nutzung der Sonnenenergie durch Solarzellen ist nach gegenwärtiger Kenntnis eine ökologisch verträgliche und sichere Energieform. Die Stromerzeugung für das öffentliche Netz aus Solarzellen ist derzeit im Regelfall noch weit von einer Wirtschaftlichkeit entfernt. In geringerem Umfang ist Sonnenenergie durch Solarzellen jedoch bereits jetzt verfügbar. So gibt es heute schon einzelne Anwendungsgebiete, in denen Photovoltaik im Inselbetrieb unter wirtschaftlich vertretbaren Kosten genutzt werden kann. In den nächsten Jahren dürften sich die Anlagenkosten zwar noch nennenswert verringern, wann jedoch eine generelle Wirtschaftlichkeit erreicht wird, ist derzeit nicht abzusehen. Zu den Entwicklungszielen der Kernfusion gehören ebenfalls ökologische Verträglichkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit.

37. Stimmt die Bundesregierung Aussagen zu, wonach auf nationaler wie internationaler Ebene die Energieversorgungssysteme aufgrund der Bedrohungen durch den Anstieg der atmosphärischen Co_2-Konzentration umgestaltet werden müssen?

38. Stimmt die Bundesregierung Aussagen zu, wonach diese Umgestaltung so schnell als möglich erfolgen muß, keinesfalls jedoch erst ab dem Jahr 2050, dem derzeit von Fachleuten prognostizierten frühesten Datum für die Einsatzbereitschaft der Kernfusion?

39. Eine Reihe von unabhängigen Prognosen sagt für das Jahr 2050 bereits einen hohen solaren Anteil (20 bis 30 v. H.) an der Energieversorgung beispielsweise in der Bundesrepublik Deutschland voraus, mit stark steigenden Zuwachsraten.

    Welche Notwendigkeit sieht die Bundesregierung vor diesem Hintergrund noch für die Fusionsenergie, mit deren Ausbau zu diesem Zeitpunkt ja erst (frühestens) begonnen werden könnte?

40. Mit welchen Mitteln und Maßnahmen gedenkt die Bundesregierung ein weiteres Ansteigen der atmosphärischen CO_2-Konzentration entgegenzuwirken?

Die langfristige Sicherung unserer Energieversorgung bei einem preisgünstigen und ressourcenschonenden, die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft sichernden Energieangebot bleibt nach wie vor ein prioritäres Ziel der Energiepolitik der Bundesregierung. Die Entwicklungen der letzten Jahre haben deutlich gemacht, daß es hierbei nicht nur um Ressourcenprobleme und Abhängigkeiten von ausländischen Partnern geht. Als entscheidendes Problem wird heute die Freisetzung von CO_2 bei der Verbrennung fossiler Energieträger und die damit verbundenen Auswirkungen auf das Klima unserer Erde gesehen. Klimaveränderungen können katastrophale Folgen für die Menschheit haben.

Deshalb ist es Ziel der Bundesregierung, Versorgungssicherheit, Preisgünstigkeit und Umweltverträglichkeit in verantwortbarer Weise zusammenzuführen. Die hierzu notwendige Strategie geht von zwei Ansatzpunkten aus.

Zum einen muß verstärkt auf Energieeinsparung und rationelle Energienutzung hingewirkt werden.

Und zum anderen müssen alle vorhandenen Optionen zur Energieerzeugung so weiterentwickelt werden, daß sie unter Ökologie- und Klimagesichtspunkten auch langfristig nutzbar sind; d. h. es sind vor allem solche Energiequellen zu verwenden, bei deren Einsatz kein CO_2 entsteht.

Für die Gegenwart bedeutet dies die Nutzung der Kernenergie bei höchstmöglichem Sicherheitsstandard.

In der Zukunft sollen daneben erneuerbare Energiequellen wie Wasser-, Sonnen- und Windenergie einen größeren Versorgungsbeitrag leisten als bisher. Um dies rechtzeitig und in ausreichendem Maße zu gewährleisten, sind sowohl Forschung und Entwicklung als auch die praktische Erprobung vorhandener Ansätze verstärkt weiterzuverfolgen.

Die vergangene Entwicklung der nationalen und internationalen Energieversorgung macht deutlich, daß auch in Zukunft fossile Energieträger einen wesentlichen Beitrag liefern werden. Daher sind neue Technologien und Konzepte zu entwickeln, um den fossilen Energiequellen einen verantwortbaren Anteil an unserer zukünftigen Energieversorgung geben zu können. Wir tragen damit auch zu einem guten Teil Verantwortung gegenüber den Schwellenländern und den Ländern der Dritten Welt, die sicher auf lange Zeit vorwiegend auf die Nutzung von Kohle und Öl angewiesen sein werden und so ebenfalls zu einem erheblichen Teil zum CO_2-Klima-Problem beitragen. Daher muß es insgesamt Ziel sein, weniger fossile Energieträger zu nutzen.

Längerfristig kann gerade im Hinblick auf die Gefährdung des Weltklimas auf keine Option der Energieversorgung, also auch nicht auf die Kernfusion verzichtet werden.

2. *Zur Sicherheit und Ökologie*

Entscheidend für die Sicherheitsbewertung potentieller zukünftiger Fusionskraftwerke wird sein, mit welcher konkurrierenden zukünftigen Energiequelle die Fusion verglichen wird. Bei der Fusion ergibt sich hierbei das Problem, daß Sicherheitsanalysen für künftige Fusionsreaktoren aufgrund der noch weitgehend unklaren Anlagenkonzeptionen heute noch mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Trotzdem und somit unbegründet wird heute bereits von der Fusion als einer generell „sauberen und risikoarmen Energiequelle" gesprochen.

1. Welcher Unfall stellt nach derzeitiger Meinung der Bundesregierung den denkbar schwersten Unfall in einem Fusionskraftwerk aktuellen Planungsstandes dar?

Nach derzeitigem Kenntnisstand besteht der schwerste Unfall in der Freisetzung von Tritium als HTO in der Reaktorhalle. Ursachen hierfür können das Versagen von Komponenten des Brennstoffsystems oder des Plasmagefäßes sein. Da die Tritiuminventare teilweise miteinander in Verbindung stehen werden, kann die tatsächliche Freisetzungsmenge nur auf der Basis einer detaillierten Reaktorkonstruktion bestimmt werden. Bei der Planung des ITER wird angestrebt, die maximal freisetzbare Tritiummenge auf 100–200 g zu begrenzen. Ein Fusionsreaktor enthält nach

bestem heutigen Wissen kein Energiepotential, das die Sicherheitshülle sprengen könnte. Deshalb wird erwartet, daß alle denkbaren internen Unfälle nur zu Dosisbelastungen für die Öffentlichkeit führen können, die deutlich unterhalb der in der Bundesrepublik Deutschland festgelegten Grenzwerte liegen.

2. Wie bewertet die Bundesregierung die Aussage von Experten, wonach die gewünschte Sicherheit gegen betriebliche Funktionsstörungen sowie gegen Störfälle bei einem Fusionsreaktor voraussichtlich schwieriger zu erreichen sein wird als bei Spaltungsreaktoren, da ein Fusionsreaktor nach seinem Aufbau (ineinandergeschachtelte Torusanordnungen) und Funktionen (Vakuum, Plasma, Tritium- und Lithium-Beherrschung, hohe Temperaturen, Strahlenschäden, Supraleitung) beträchtlich komplizierter und schwieriger zu beherrschen sei (Quelle: Perspektiven der Energieversorgung, Gutachten im Auftrag der Landesregierung von Baden-Württemberg, November 1987, Materialienband VI, Teil 2, Kernfusion)?

Nach derzeitiger Kenntnis wird ein Fusionsreaktor komplizierter aufgebaut sein als Spaltungsreaktoren. Dies verlangt von den Komponenten des Fusionsreaktors eine hohe Zuverlässigkeit. Die Anlagenverfügbarkeit – im Sinne von Betriebsstunden pro Jahr bezogen auf die kalendermäßig möglichen Betriebsstunden – wird deshalb zunächst wahrscheinlich niedriger sein als die von Spaltungsreaktoren. Grundsätzlich erscheint deren Niveau erreichbar. Dies erfordert jedoch die längerfristige Entwicklung der notwendigen Technologie. Im Sinne der Sicherheit haben insbesondere die signifikanten Störfälle wesentlich geringere Folgen als die von Spaltungsreaktoren. Die Argumente hierfür sind in den Antworten zu den Fragen 2.3 und 2.6 im einzelnen aufgeführt.

3. Wie bewertet die Bundesregierung das Gefahrenpotential eines Fusionskraftwerkes im Vergleich zu Solar- bzw. Spaltungskraftwerken?

Das Gefahrenpotential von Solarkraftwerken dürfte allenfalls im konventionellen Bereich liegen; zum Beispiel in der Vorfertigungsphase bei der Siliziumgewinnung oder bei Fertigung und Aufbau von Anlagen, im Versagen von Fokussierungs- und Nachführungseinrichtungen, in chemischen Reaktionen der Kühlmedien und der Wasserstofftechnologie, insbesondere beim Transport von Wasserstoff. Studien zur Sicherheit von Solarkraftwerken sind hier nicht bekannt.

Das Gefahrenpotential von Spaltungsreaktoren besteht von den grundlegenden Eigenschaften her in der möglichen Kritikalität des Kerns und der großen, im Brennstoff für etwa 3 Jahre Brenndauer gespeicherten Energie.

Die Freisetzung eines verhältnismäßig geringen Bruchteils dieser Energie durch einen Unfall kann bei sehr ungünstigem Verlauf zum Versagen der Sicherheitshüllen führen. Ursache hierfür ist vor allem die kompakte Geometrie heutiger Spaltungsreaktoren.

Beim Fusionsreaktor ist die gespeicherte Energie um mehrere Größenordnungen geringer (insbesondere wird der Brennstoff nicht in der Brennkammer vorrätig gehalten, sondern während des Betriebs von außen zugeführt). Ebenfalls wesentlich geringer sind die Leistungs- und Nachwärmeleistungsdichten, während die Volumina und wärmetauschenden Flächen ganz erheblich größer sind. Ein signifikantes Versagen der Sicherheitshülle infolge eines Reaktorunfalls (d. h. von innen) ist deshalb nach heutiger Kenntnis aus physikalisch-technischen Gründen unmöglich.

4. Stimmt die Bundesregierung Aussagen einzelner Experten zu, wonach das Risikopotential von Fusionsreaktoren im einzelnen noch nicht bestimmbar ist (Quelle: Perspektiven der Energieversorgung, Gutachten im Auftrag der Landesregierung von Baden-Württemberg, November 1987, Materialienband VI, Teil 2, Kernfusion)?

Als Risiko bezeichnet man das Produkt aus der Konsequenz eines Unfalls (z. B. Strahlungsdosis) und seiner Eintrittshäufigkeit (z. B. 1 × pro 100 Jahre). In allen Details sind die Einzelrisiken der möglichen Unfälle bei einem energieerzeugenden Fusionsreaktor derzeit noch nicht zu bestimmen, da weder eine detaillierte Konstruktion noch Betriebserfahrungen vorliegen. Global – im Sinne einer Gesamtschau aller Möglichkeiten – erscheint das Risikopotential bestimmbar, da die radioaktiven Inventare und freisetzbaren Energien in etwa bekannt sind und die Versagenshäufigkeit der Sicherheitshülle konservativ abgeschätzt werden kann. Nach heutiger Kenntnis kann die Sicherheitshülle nur bei externen Einwirkungen versagen (s. hierzu 2.3).

5. Wie bewertet die Bundesregierung die Gefahren für Mensch und Natur eines großen Lithium-Brandes in einem Fusionskraftwerk?

Reines Lithium kann mit Sauerstoff oder Wasser im Sinne eines Brandes reagieren. Innerhalb des europäischen Fusionsprogramms wird deshalb reines Lithium nicht als Brutmaterial vorgesehen. Metallische Lithiumverbindungen oder -legierungen sind praktisch nur mit Wasser reaktiv, jedoch um etwa 4 Größenordnungen weniger als reines Lithium. Sie werden innerhalb des europäischen Fusionsprogrammes als mögliche Brutmaterialien betrachtet. Auch die Einsatzmöglichkeit von hochschmelzenden, keramischen Lithiumverbindungen wird derzeit untersucht. Im relevanten Temperaturbereich liegt ihre Reaktivität mit Wasser (Sauerstoff spielt keine Rolle) typischerweise um 10 Größenordnungen niedriger als die von reinem Lithium. Die Gefahren eines großen Lithium-Brandes existieren folglich nicht, da ein solches Ereignis durch die Wahl des Brutmaterials ausgeschlossen werden kann.

6. Stimmt die Bundesregierung Aussagen zu, wonach in einem Fusionskraftwerk derzeitiger Planung nach zwei Jahren Betriebsdauer sich in etwa das gleiche Radioaktivitätsinventar aufgebaut hat wie in einem schnellen Brutreaktor (bei gleicher Leistung)?

Bei Verwendung heutiger, konventioneller Stähle in Fusionsreaktoren sind die Radioaktivitätsinventare von Leichtwasserreaktoren, schnellen Brutreaktoren und Fusionsreaktoren gleicher Leistung nach längerem Betrieb in etwa gleich. Das Radioaktivitätsinventar bemißt die Anzahl der radioaktiven Zerfälle pro Zeiteinheit in Becquerel (Bq), nicht jedoch die biologische Wirksamkeit der dabei ausgesandten Strahlung. Die radioaktiven Isotope in Spaltungsreaktoren und Fusionsreaktoren sind weitgehend voneinander verschieden. Insbesondere sind im Fusionsreaktor keine Alphastrahler vorhanden, die das Radioaktivitätsinventar eines Spaltungsreaktors mitbestimmen. Außerdem liegen die aktivierten Materialien im Fusionsreaktor als Festkörper vor. Global gesehen ist das Radioaktivitätsinventar im Fusionsreaktor um mindestens eine Größenordnung niedriger als im Spaltungsreaktor (s. auch 2.13). Die daraus herzuleitende biologische Wirksamkeit ist um mindestens zwei Größenordnungen geringer. Langfristig kann es möglich werden, das Inventar durch neue Strukturmaterialien noch erheblich zu vermindern. Bei den Spaltprodukten und Alphastrahlen aus dem Betrieb von Kernspaltungsreaktoren besteht diese Möglichkeit grundsätzlich nicht.

7. Stimmt die Bundesregierung Angaben zu, wonach in einem Fusionsreaktor mehrere 10 kg Tritium enthalten sein werden (Quelle: J. Benecke in: Criteria for the Assessment of European Fusion Research, European Parliament Report, EP-STOA-F2, May 1988)?

Das Tritiuminventar eines Fusionsreaktors hängt stark vom angewandten Reaktorkonzept ab, vor allem von Art und Menge des Brutmaterials. So schwanken z. B. Abschätzungen über das Tritiuminventar in Blanket-Systemen zwischen einigen 100 g und einigen kg – je nach verwendetem Brutmaterial.

Hohe Inventare wären allenfalls für Anlagen zu erwarten, die mit flüssigem Lithium als Brutmaterial und Kühlmittel arbeiten. So wurde z. B. für den amerikanischen UWMAK-Entwurf, der Lithium als Brutmaterial und Kühlmittel vorsieht, ein Gesamtinventar von ca. 20 kg abgeschätzt (die UWMAK-Entwürfe sind schon sehr alt und kaum noch als Maßstab geeignet). Diese oder ähnliche Konzepte werden jedoch in Europa – vor allem wegen der Brandgefahr beim Einsatz von flüssigem Lithium (siehe Erläuterungen zu Frage 2.5) – nicht verfolgt.

Bei den in Europa angestrebten Brutmaterialien (Li-Keramiken oder LiPb) ergeben sich wesentlich geringere Tritiuminventare. Ein Gesamtinventar von 3 bis 5 kg für einen Fusionsreaktor (1 000 MW_e) ist als ein nach heutigem Wissensstand realistischer Wert anzusehen (entsprechende Angaben auch in „Perspektiven der Energieversorgung, Gutachten im Auftrag der Landesregierung von Baden-Württemberg, November 1987, Materialienband VI, Teil 2, Kernfusion"). Von diesem Tritiuminventar liegt allerdings nur ein kleiner Teil in der – für Sicherheitsbetrachtungen maßgebenden – flüchtigen Form vor.

8. Stimmt die Bundesregierung Aussagen zu, wonach ein Tritium-Rückhaltefaktor kleiner 10^6/Tag (entspricht 1 Teil Tritium von 10^6 Teilen) erzielt werden muß, damit die maximal zulässigen Konzentrationen von tritiiertem Wasser (HTO) außerhalb des Reaktors nicht überschritten werden (Quelle: Perspektiven der Energieversorgung, Gutachten im Auftrag der Landesregierung von Baden-Württemberg, November 1987, Materialienband VI, Teil 2, Kernfusion)?

9. Stimmt die Bundesregierung Aussagen zu, wonach dies einen außergewöhnlich hohen Faktor darstellt, dessen technische Realisierbarkeit im Normalbetrieb eines Fusionskraftwerkes noch nicht gesichert ist (Quelle: Perspektiven der Energieversorgung, Gutachten im Auftrag der Landesregierung von Baden-Württemberg, November 1987, Materialienband VI, Teil 2, Kernfusion)?

Der zitierte Rückhaltefaktor von 10^6/Tag (1 ppm/Tag) bezieht sich auf Anforderungen an die Dichtigkeit von Gas- und Flüssigkeitskreisläufen und damit auf die maximale Leckrate in der Reaktorhalle. Er bezieht sich nicht auf die Emission aus der Anlage in die Umgebung. Bereits heute liegen Erfahrungen mit einem Helium-Kreislauf vor, die auf Leckraten von wenigen ppm/Tag für die in einem Fusionsreaktor zu erwartenden Bedingungen schließen lassen. Im übrigen wird die HTO-Emission in die Umgebung durch Detritiierungsanlagen kontrolliert. Auf diese Weise kann, unabhängig von der HTO-Konzentration in der Reaktorhalle, HTO wiedergewonnen bzw. zurückgehalten werden, um die radiologische Belastung der Umwelt auf das gewünschte Niveau zu reduzieren.

10. Schließt sich die Bundesregierung der Meinung mancher Experten an, daß eine Tritium-Freisetzung von 50–100 Ci/Tag akzeptabel sei?

Eine Freisetzung von 50 bis 100 Ci/Tag führt im ungünstigsten Fall zu einer maximalen Jahresdosis von etwa 1,5 mrem. Dies gilt als Höchstdosis für eine Person, die sich ständig in einem Kilometer Entfernung vom Fusionsreaktor aufhält. Dieser Wert liegt deutlich unterhalb der Dosisschwankung der natürlichen Radioaktivität von Ort zu Ort (der Dosis-Mittelwert in der Bundesrepublik Deutschland beträgt 110 mrem pro Jahr).

11. Wie bewertet die Bundesregierung jüngste wissenschaftliche Ergebnisse, wonach die biologische Halbwertzeit von HTO zehn Tage, von organisch gebundenem Tritium jedoch 400 bis 600 Tage beträgt (Quelle: J. Benecke in Criteria for the Assessment of European Fusion Research, European Parliament Report, EP-STOA-F2, May 1988)?

Tritium kann in alle organischen Moleküle anstelle von Wasserstoff eingebaut werden. Daraus resultieren die unterschiedlichen biologischen Halbwertzeiten von Tritium im Körper [Quelle: Moghissi, A.A. and Carter, M.W., Long-Term Evaluation of the Biological Half-Life of Tritium, Health Phys. 21, 57–60 (1971)].

Tritium, das als HTO über das Verdauungssystem, die Lunge oder die Haut in den Körper eintritt, unterliegt dem gleichen Stoffwechsel wie Wasser und verläßt den Körper mit einer biologischen Halbwertzeit von 4 bis 18 Tagen (Durchschnitt 10 Tage)

durch Ausscheidungen, Transpiration und ausgeatmete Luft. Etwa zwei Drittel des gesamten Wasserstoffs des Menschen werden auf diese Weise umgesetzt. Dazu gehören auch die labil gebundenen Wasserstoffatome der organischen Substanz (Bindung an Stickstoff, Sauerstoff und Schwefel), die leicht mit Wasserstoffatomen des Gewebewassers ausgetauscht werden.

Wird Tritium in Form von organischen Substanzen durch Nahrungsmittel aufgenommen, erhöht sich die Einbaurate von Tritium in die organische Körpersubstanz auf einige Prozent [Quelle: Kirchmann, R., Charles, P., van Bruwaene, R., Remy, J., Koch, G. und van den Hoek, J., Distribution of Tritium in the Different Organs of Calves and Pigs after Ingestion of Various Tritiated Feeds, Curr. Top. Rad. Res. Quart. 12, 291–312 (1977)].

Wird der Einbau von Tritium in organische Körpersubstanz des Menschen bei der Dosisberechnung mitberücksichtigt, dann erhöht sich die Tritiumdosis um den Faktor 1,1 bis 1,7. Die Belastung für den Organismus verdoppelt sich bei Aufnahme von tritiierter Nahrung im Vergleich zu der üblichen Dosisberechnung, bei der nur Tritium im Körperwasser berücksichtigt wird [Quellen: Myers, D.K. and Johnson, J.R., Toxicity and Dosimetry of Tritium: A Review, a Report Prepared for the Advisory Committee on Radiological Protection, Atomic Energy Control Board, Ottawa, Canada (1987); Etnier, E.L., Travis, C.C. and Hetrick, D.M., Metabolism of Organically Bound Tritium in Man. Radiat. Res. 100, 487–502 (1984)].

12. Wie bewertet die Bundesregierung Berichte über eine dadurch gegenüber HTO drastisch erhöhte Radiotoxizität von organisch gebundenem Tritium (bis zu 1 000fach, betreffend Embryonen bis zu 5 000fach höher)?

In Untersuchungen von Rytömaa u. a. [Rytömaa, T., Saltevo, J. and Toivonen, H., Radiotoxity of Tritium-Labelled Molecules. In: „Biological Implication of Radionuclides Released from Nuclear Industries, Vol. I", Proceedings of an IAEA Symposium in Vienna (1979)] und Yamada und Yukawa (Yamada, T. and Yukawa, O., Changes in Sensitivity of Mouse Embryos During the Pronuclear and the 2-cell stage. Commission of the European Communities EUR 8067 E (1984)] wurde eine 1 000- bis 5 000fach höhere Radiotoxizität von 3-H-Thymidin im Vergleich zu HTO gefunden. Dabei wurden einmal Krebszellen und einmal junge Mäuseembryonen in vitro mit 3-H-Thymidin bzw. HTO behandelt.

3-H-Thymidin hat die höchste Radiotoxizität der tritiierten organischen Verbindungen, die für Dosisabschätzungen relevant sind. Thymidin ist eine Vorstufe für die Synthese von DNS und wird spezifisch nur in das Erbmaterial von sich teilenden Zellen eingebaut. Es wird deshalb in der Forschung verwendet, um das Schicksal von Zellen in frühen Entwicklungsstadien zu verfolgen.

Bei einmaliger Injektion von 3-H-Thymidin in die Blutbahn von Mäusen wurde gefunden, daß die Nukleinsäurevorstufe 50mal toxischer auf die Kerne der Stammzellen (kritische Zellen für

späte Strahleneffekte) wirkt als die gleiche Menge HTO. Für andere tritiierte Nukleinsäurevorstufen und für Aminosäuren ist dieser Faktor kleiner als 50 und erreicht bei einigen Substanzen Werte von weniger als 10. Bei oraler Applikation ist der Faktor jeweils etwa 5mal kleiner [Quelle: Feinendegen, L.E., Biological Damage from Radioactive Nuclei incorporated into DNA of Cells: Implications for Radiation Biology and Radiation Protection. In: Proceedings of the Sixth Symposium on Microdosimetry. Booz, J., and Ebert, H.G. (eds.), Harwood Academic Publishers Ltd. for the Commission of the European Communities, 3–37 (1978)].

Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Tritiumatom aus einer tritiierten Umgebung in die speziellen Positionen der DNS des Menschen eingebaut wird, ist außerordentlich klein. Feinendegen berechnete hierfür eine Wahrscheinlichkeit von 0,015 Prozent [Tritium in Biosystemen und sein Risiko im Rahmen der deutschen Strahlenschutzverordnung, Vortrag am 16. Juli 1985 vor der Münchner Chemischen Gesellschaft, RCM 02486 (1986)]. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen spielen daher für den praktischen Strahlenschutz nur eine untergeordnete Rolle.

13. Wie bewertet die Bundesregierung Aussagen, wonach die Mengen an schwach-, mittel- und hochradioaktivem Abfall (pro Leistungseinheit), die bei einem Fusionskraftwerk anfallen (inkl. Abriß des Reaktorgebäudes), erheblich, bis um Größenordnungen größer sein können wie bei einem Leichtwasserreaktor heutiger Bauart (Quelle: Bericht des KfK, Technik für die Kernfusion)?

Die angegebene Quelle (Bericht des KfK, Technik für die Kernfusion) spricht von „Schätzungen über die Größenordnung der anfallenden Mengen radioaktiven Abfalls" und quantifiziert diese durch Angabe der jährlich und bei der Stillegung anfallenden Aktivitätsmengen (Ci). In Tabelle 10-1 der Quelle sind zwei Annahmen enthalten, die für den Fusionsreaktor zu einem zu hohen und für den LWR zu einem zu niedrigen Aktivitätsinventar führen (jährliche Abfallmenge beim Fusionsreaktor 10^8 Ci, beim LWR $1,5 \times 10^8$ Ci plus Aktiniden, bei der Stillegung Fusionsreaktor 10^9 Ci, LWR 10^6 Ci):

1. Die Werte für den Fusionsreaktor basieren auf der Annahme konventioneller Stahlsorten für erste Wand und Blanket, die das Gesamtinventar dominieren. Diese Stahlsorten wurden für Spaltungsreaktoren entwickelt und sind nicht für Fusionsreaktoren optimiert. Im Rahmen des Technologieprogramms Kernfusion wurden zunächst die Eigenschaften vorhandener Materialien unter den erwarteten Betriebsbedingungen des Fusionsreaktors ermittelt. Inzwischen hat eine auf geeignete Materialien gerichtete Entwicklung begonnen. Damit ist zu erwarten, daß in einigen Jahrzehnten Strukturmaterialien zur Verfügung stehen werden, die das gesamte Aktivitätsinventar erheblich verringern.

2. In der Angabe des radioaktiven Abfalls für den LWR ist die Aktivität der Aktiniden der jährlich auszutauschenden Brennelemente nicht quantifiziert und es fehlt offensichtlich die Aktivität des letzten Kerninventars.

Berücksichtigt man beides, dann ergibt sich das Aktivitätsinventar eines LWR mindestens zu 10^{10} Ci und nicht zu einigen 10^{8} Ci, wie in Tabelle 10-1 angegeben („Perspektiven der Energieversorgung", Gutachten im Auftrag der Landesregierung von Baden-Württemberg, November 1987, Materialienband VI, Teil 2, Kernfusion).

Auf eine Unterteilung in schwach-, mittel- und hochaktiven Abfall wird in der Quelle nicht eingegangen. Es ist jedoch davon auszugehen, daß der im Normalbetrieb anfallende schwachaktive Anteil der Abfallmenge pro Leistungseinheit für einen Fusionsreaktor und einen LWR sowohl von der Aktivität als auch von der Menge her etwa gleich groß sein wird. Schätzungen für mittel- und hochaktive Abfälle aus Fusionsreaktoren führen zu etwa doppelten Mengen, verglichen mit einem LWR. Die Qualität des Abfalls aus dem Fusionsreaktor hängt jedoch stark von den für erste Wand und Blanket verwendeten Materialien ab. Bei Verwendung konventioneller Stahlsorten ist von hochaktivem Abfall auszugehen, bei Verwendung von optimierten Materialien für den Fusionsreaktor (Low Activation Materials), deren Entwicklung anläuft, kann dieser Abfall nach einigen Jahren Abklingzeit – anders als beim Spaltreaktor – als mittelaktiv behandelt und später ggf. rezykliert werden. Die aktivierten Materialien liegen im Fusionsreaktor als Festkörper vor (s. auch 2.6).

14. Welche Abfallmengen wären nach Kenntnis der Bundesregierung bei längeren Standzeiten der ersten Wand des Fusionsreaktors zu erwarten?

Im Rahmen des europäischen Fusionstechnologieprogramms wird eine möglichst lange Standzeit der ersten Wand des Fusionsreaktors angestrebt, um innerhalb der Gesamtbetriebszeit die erste Reaktorwand und das Blanket möglichst selten ersetzen zu müssen.

Schätzungen für die Abfallmenge bei einem Austausch der ersten Wand schwanken zwischen 100 m^3 und einigen 100 m^3, je nachdem, ob nur die erste Wand oder gleichzeitig auch die entsprechenden Bankets auszutauschen sind.

Als Richtwert können Angaben über STARFIRE (Commercial Tokamak Fusion Power Plant Study, ANC/FPP – 80-1, Sept. 1980) gelten, bei dem ein viermaliger Ersatz der ersten Wand während der Reaktorlebensdauer von 30 Jahren angenommen wurde: Es ergaben sich etwa 110 m^3 je Austausch, was einer mittleren jährlichen Abfallmenge von 18 m^3 entspricht.

15. Über welchen Zeitraum müssen nach Ansicht der Bundesregierung welche radioaktiven Abfallmengen (bei dem derzeitig favorisierten Fusionskonzept) sicher von der Biosphäre ferngehalten werden?

Die Beantwortung dieser Frage setzt eine detaillierte Festlegung des Fusionsreaktorkonzepts voraus, insbesondere der für erste Wand und Blanket verwendeten Materialien.

Der Zeitraum, über den radioaktiver Abfall von der Biosphäre fernzuhalten ist, wird bestimmt vom Abklingverhalten der Isotope und den Grenzwerten (spezifische Radioaktivität, Kontaktdosis, biologisches Gefährdungspotential), die für die Biosphäre als „unbedenklich" angesehen werden.

Ein möglicher Grenzwert ist z. B. das biologische Gefährdungspotential von Kohlenasche oder Uranerz. Bei Annahme konventioneller Stähle für die erste Wand und das Blanket wird dieser Wert nach etwa 100 bis einigen hundert Jahren erreicht. Dies gilt für die Legierungsbestandteile des Stahls. Die Wirkung möglicher Verunreinigungen, die diese Abklingzeit evtl. verlängern könnten, wird derzeit untersucht. Es gibt jedoch gute technische Verfahren, die Wirkung der Verunreinigungen praktisch auszuschalten, also ihre Konzentration unter ppm-Niveau zu bringen.

Für verbesserte Strukturmaterialien mit niedriger Verunreinigungskonzentration („Low Activation Materials") erreicht man diesen Grenzwert bereits nach einigen zehn Jahren.

Die entsprechenden Abklingzeiten für die übrigen radioaktiven Abfälle liegen niedriger. Die während eines Betriebs erzeugten Abfallmengen können z. B. nach der STARFIRE-Reaktorstudie abgeschätzt werden, wie sie in Tabelle 4.5 in „Perspektiven der Energieversorgung", Gutachten im Auftrag der Landesregierung von Baden-Württemberg, November 1987, Materialienband VI, Teil 2, Kernfusion, zusammengestellt sind (siehe auch Frage 2.14).

16. Gibt es nach Kenntnis der Bundesregierung Grund zu der Annahme, daß die lokale Abwärmebelastung bei einem Fusionskraftwerk höher liegen wird als bei den derzeit üblichen Kraftwerksblöcken?

Da die thermische Leistung von geplanten Fusionsreaktoren und heutigen Kraftwerksblöcken vergleichbar ist, wird – bei gleichen Kühlverhältnissen – auch die Abwärmebelastung vergleichbar sein. Die angestrebten höheren Betriebstemperaturen bei Fusionsreaktoren würden die Abwärmeabgabe verringern.

17. Liegen der Bundesregierung Untersuchungen über die potentiellen elektromagnetischen Abstrahlungen in der nahen Reaktorumgebung sowie über deren potentiellen Auswirkungen vor, wenn ja, mit welchem Ergebnis?

Bei der Kernfusion mit magnetischem Einschluß und Hochfrequenz-Zusatzheizung treten stationäre sowie zeitlich langsam veränderliche Magnetfelder und elektromagnetische Felder (Radiowellen) auf. Es handelt sich hierbei um nichtionisierende Strahlung, die nur während des Betriebs solcher Anlagen wirkt.

Über die potentiellen Auswirkungen von magnetischen und elektromagnetischen Feldern auf den Menschen sowie über den Schutz gegen nicht-ionisierende Strahlung liegen weltweit zahlreiche Untersuchungen vor. Diese sind u. a. in Veröffentlichungen der Weltgesundheitsorganisation umfassend dargestellt (Quellen: WHO 1981: Radiofrequency and Microwaves, Environmental Health Criteria 16; WHO 1982: Non-ionizing Radiation Protection,

Ed. M.J. Suess, WHO Regional Publications, European Series No. 10; WHO 1984: Extremely Low Frequency Field, Environmental Health Criteria 35; WHO 1987: Magnetic Fields, Environmental Health Criteria 69), in bga-Schriften (bga 1986: Biological Effects of Static and Extremely Low Frequency Magnetic Fields, bga-Schriften 3/86) sowie DIN 57848 (DIN 57848: Teil 2 = VDEO848, Teil 2: Gefährdung durch elektromagnetische Felder, Schutz von Personen im Frequenzbereich von 10 kHz bis 3 000 GHz).

Bereits zum Schutz des Betriebspersonals und auch wegen möglicher Einflüsse von Streufeldern auf Elektronik-Komponenten von Instrumentierungs- und Regelsystemen sind Abschirmungen vorgesehen. Zusammen mit Zugangsbeschränkungen ist so gewährleistet, daß die Grenzwerte, die aufgrund breiter internationaler Erfahrungen für das Betriebspersonal und die Umgebung aufgestellt wurden, nicht überschritten werden. Fusionsanlagen werden so ausgelegt, daß z. B. die geringfügige magnetische Flußdichte am Zaun der Anlage die Dichte des Erdmagnetfeldes nicht wesentlich überschreitet und damit für die Umgebung keine Gefahr darstellt (Die magnetische Flußdichte des erdmagnetischen Feldes variiert zwischen den magnetischen Polen und dem magnetischen Äquator und liegt an der Erdoberfläche im Mittel zwischen 30 und 50 Mikrotesla).

3. *Zu ökonomischen und energetischen Aspekten*

1. Analysen von Wissenschaftlern aus dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching zufolge sind in bisherigen Kostenanalysen zur Kernfusion grundlegende methodische Fehler enthalten.

   Wie bewertet die Bundesregierung die Aussage dieser Wissenschaftler, daß nach Beseitigung dieser Fehler die Energiegewinnung mit Hilfe der Kernfusion (auf der Basis der heute favorisierten Technologie) ca. 10mal teurer sein wird als die Kernspaltung (Quelle: Pfirsch und Schmitter, On the Economic Prospects of Nuclear Fusion with Magnetically Confined Plasmas, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Report No. IPP 6/271, Dec. 1987)?

Die Kritik der genannten Wissenschaftler richtet sich mehr auf angebliche methodische Fehler in der Energieberechnung als in der Kostenanalyse (vgl. Frage 3.4). Um die Kosten der Fusion relativ zur Spaltung zu extrapolieren, entwickelten die Autoren ein stark vereinfachtes Verfahren mit Annahmen, die in Größe und Einfluß kaum zu rechtfertigen sind. Die von ihnen abgeleitete stark vereinfachte Kostenformel führt zu falschen Resultaten, wenn mit ihr – außerhalb ihres Gültigkeitsbereiches – Extrapolationen über zwei Größenordnungen und deutliche technologische Unterschiede hinweg durchgeführt werden. Obwohl Kostenschätzungen im gegenwärtigen Entwicklungsstadium noch unsicher sein müssen, sind die Kostenberechnungen von Fusionsreaktorentwürfen mit detaillierter Aufschlüsselung der Komponentenkosten genauer und besser begründet. Danach wird erwartet, daß die Stromerzeugungskosten des ersten kommerziellen Fusionsreaktors vielleicht 3mal so hoch sein könnten wie die bereits weit entwickelter und in vielen Exemplaren gebauter Kernspaltungsreaktoren. Nach allen Erfahrungen wird sich dieser Faktor weiter

reduzieren, wenn ausgehend von den ersten Fusionskraftwerken die Einzelkomponenten kostenoptimiert werden können und die Entwicklung darauf ausgerichtet wird.

2. Wie bewertet die Bundesregierung die weitere Aussage der Wissenschaftler, wonach diese Ergebnisse im wesentlichen nicht auf den derzeitigen physikalischen oder technischen Problemen beruhen, sondern auf heute bereits definierbaren und auch in Zukunft beizubehaltenden grundlegenden ingenieurtechnischen Vorgaben für Fusionskraftwerke (wie beispielsweise der Größe des „Reaktorkessels" und der Leistungsdichte)?

Die Schlußfolgerung der genannten Wissenschaftler, daß Fusionsenergie erheblich teurer als Spaltungsenergie sei, weil sich die Reaktorkosten im Verhältnis zur Reaktor-Leistungsdichte vergrößern, ist aus verschiedenen Gründen falsch:

1. Die auf die Größe bezogenen Herstellungskosten bei zwei verschiedenen Systemen werden nicht gleich sein, weil vor allem die in Hochtechnologiesystemen dominierenden Fertigungskosten unterproportional zur Größe von Komponenten gleicher Qualität anwachsen.

2. Die Kosten für den Fusionsreaktor ergeben sich, selbst wenn sie mit der Leistungsdichte anwachsen, nicht aus dem Volumen. Der mit der Leistungsdichte steigende Kostenanteil eines Spaltungsreaktors geht z. B. nur mit einem geringfügigen Prozentsatz von ca. 7 Prozent in die gesamten Kapitalkosten ein.

3. Es müssen die gesamten Stromerzeugungskosten zum Vergleich herangezogen werden, da die Brennstoffkosten bei der Fusion erheblich geringer sind als bei der Spaltung.

Die gesamte Kraftwerks-Leistungsdichte wird bei der Fusion entsprechend den Verhältnissen im Kohle- oder Ölkessel durch die Grenzwerte für die Wärmebelastung des Materials der ersten, dem Plasma zugewandten Oberfläche bestimmt. Deshalb sind die Bemühungen auch bei der Fusion darauf ausgerichtet, hier möglichst hochbelastbare Materialien einzusetzen. Die Möglichkeiten hierfür werden jedoch von den genannten Wissenschaftlern falsch eingeschätzt, indem sie bereits heute bekannte konstruktive Lösungen und geeignete Materialien ignorieren. Damit könnten schon jetzt zulässige Wärmebelastungen erreicht werden, die erheblich über den von den Autoren angegebenen Werten liegen, so daß deren Schlußfolgerungen irreführend sind.

3. Wie bewertet die Bundesregierung Aussagen, wonach die Kosten des „konventionellen" Teils eines zukünftigen Fusionskraftwerkes, in dem die Neutronenenergie zu Wärme, diese zu Dampf, dieser schließlich zu Strom umgewandelt wird, bereits beim heutigen Kenntnisstand kalkuliert und in Relation zu heutigen Preisen bei Spaltkraftwerken gesetzt werden kann?

Die Kosten für den „konventionellen" Teil eines zukünftigen Fusionskraftwerks, also das System außerhalb der Blanket-Kühlverbindungen, können nach heutigem Kenntnisstand kalkuliert werden, obwohl die derzeitigen Entwürfe noch nicht optimiert sind. Die Kosten dieses Anlagenteils sind von der elektrotechnischen Industrie abrufbar und stellen keine fusionsspezifische Besonderheit dar.

4. Wie bewertet die Bundesregierung aus ihrer heutigen Sicht den „Erntefaktor" bzw. die „Energierückgewinnungszeit" für Fusionskraftwerke?

5. Wie bewertet die Bundesregierung Aussagen, wonach in einem Fusionskraftwerk heutiger Planung nach ca. 30jährigem Betrieb nur die ca. 5fache der beim Bau der Anlage aufgewendeten Energiemenge „abgeerntet" werden kann?

Detaillierte Untersuchungen haben ergeben, daß bei Betrachtung des Gesamtsystems der potentielle Nettoenergiegewinn aus der D-T-Fusion erheblich höher ist als bei der Uranspaltung in LWR-Kraftwerken und etwa gleich groß dem, der mit schnellen Brutreaktor-Kraftwerken zu erwarten wäre.

Dabei ist darauf hinzuweisen, daß Größen wie „Erntefaktor" und „Energierückgewinnungszeit" für die eindeutige Charakterisierung der Nettoenergiebilanz unbrauchbar sind. Es gibt eine Reihe von weiteren, die Wirtschaftlichkeit bestimmenden Faktoren. Der Erntefaktor, sofern er hinreichend größer als 1 ist, kann nicht als alleiniges Maß gelten. Daher wird in der Regel der potentielle Nettoenergiegewinn aus einer Energiequelle als eindeutiges Maß verwendet.

6. Wie hoch schätzt die Bundesregierung nach dem derzeitigen Stand der Technik die Tritium-Brutrate ein?

Der Stand der Technik bezieht sich auf Studien und Experimente außerhalb von Fusionsmaschinen. Die Auswertung der Ergebnisse läßt den Schluß zu, daß die für einen Fusionsreaktor notwendige Brutrate von mindestens 1 erreicht werden kann. Die Blanket-Studien des europäischen Fusionstechnologieprogramms für den Demonstrationsreaktor (DEMO) zielen auf eine Brutrate von 1 ab.

7. Von welcher Standzeit für die erste Reaktorwand und das Blanket geht die Bundesregierung bei ihrer derzeitigen Bewertung der Fusionsenergie aus?

Mit den zur Zeit verfügbaren Strukturmaterialien wird für die im Entwurf befindlichen Blankets von einer Standzeit von 20 000 Stunden ausgegangen. Dies ist die Zielsetzung der Blanket-Studien im europäischen Fusionstechnologieprogramm für den Demonstrationsreaktor (DEMO), wobei die Standzeit eine Optimierungsgröße ist.

8. Welche Standzeit muß aus ökonomischen Gründen nach der derzeitigen Einschätzung der Bundesregierung zwingend erreicht werden?

Die Standzeit stellt ein Optimierungsproblem dar. Einerseits kann der Reaktor klein sein, wenn die Leistungsdichte an der ersten Wand hoch ist. Damit können die Kapitalkosten niedrig gehalten werden. Weil dann jedoch die Wand schneller „ausbrennt", gewinnt die zum Auswechseln der ersten Wand benötigte Zeit einen größeren Einfluß auf die gesamte Kraftwerks-Verfügbarkeit und damit auf die Stromerzeugungskosten. Ein relativ langes Austausch-Intervall (von z. B. 3 Monaten) nach jeweils 3 bis 6 Jahren Betrieb ist das derzeitige Ziel für die ersten kommerziellen Reaktoren. Dazu würde eine „Wand-Lebensdauer" im Bereich von 5 bis 10 MW a m^{-2} zu fordern sein. Im Gegensatz zu den ersten kommerziellen Fusionsreaktoren sollten die zum Austausch benötigten Zeiten in späteren Anlagen verringert werden können.

9. Wie bewertet die Bundesregierung die Aussage von Experten, wonach eine ausreichende Anlagenverfügbarkeit bei einem Fusionsreaktor voraussichtlich kaum zu erreichen sein wird, da ein Fusionsreaktor nach seinem Aufbau (ineinandergeschachtelte Torusanordnungen) und Funktionen (Vakuum, Plasma, Tritium- und Lithium-Beherrschung, hohe Temperaturen, Strahlenschäden, Supraleitung) beträchtlich komplizierter und schwieriger beherrschbar sei (Quelle: Perspektiven der Energieversorgung, Gutachten im Auftrag der Landesregierung von Baden-Württemberg, November 1987, Materialienband VI, Teil 2, Kernfusion)?

Nach derzeitiger Kenntnis besteht ein Fusionsreaktor aus mehr Komponenten als ein Spaltungsreaktor. Vorteil ist dabei, daß auch der gesamte Brennstoffkreislauf in den Fusionsreaktor integriert ist. Aus diesem Grunde müssen die Komponenten des Fusionsreaktors eine sehr hohe Zuverlässigkeit haben, um eine hohe Anlagenverfügbarkeit zu erhalten. Hier ist die in keiner Komponente exzessive Leistungsdichte von Vorteil, so daß keine prinzipiellen Gründe zu erkennen sind, die eine hohe Anlagenverfügbarkeit unmöglich machen könnten. Bereits heute sind Zuverlässigkeitsuntersuchungen in den Konstruktionsprozeß, z. B. von NET, einbezogen. Die Ergebnisse des Versuchsbetriebes mit dieser Anlage werden Informationen über das Zuverlässigkeitsniveau, und falls notwendig, Hinweise für die Art der Verbesserung geben.

10. Welche Anlagenverfügbarkeit muß mindestens erreicht werden, um Fusionsanlagen sinnvoll betreiben zu können?

Bei Stromerzeugungsanlagen wird die Verfügbarkeit unter Berücksichtigung des für weitere Verbesserungen erforderlichen konstruktiven und betrieblichen Mehraufwandes und der erreichbaren Kostensenkungen pro kWh optimiert, wobei Reserveaspekte einbezogen werden. Da die Stromerzeugung aus Fusionsanlagen sehr kapitalintensiv sein wird, sollte die Anlagenverfügbarkeit möglichst hoch liegen. Allerdings haben für die Wirtschaftlichkeit auch noch andere Faktoren, insbesondere die relativen Brennstoffkosten, eine grundlegende Bedeutung. Ein Mindestwert für die erforderliche Anlagenverfügbarkeit von Fusionskraftwerken läßt sich aus heutiger Sicht nicht angeben.

11. In welchem Lastbereich können bzw. müssen dem derzeitigen Kenntnisstand nach zukünftige Fusionskraftwerke eingesetzt werden?

Da die betriebsabhängigen Kosten von Fusionskraftwerken voraussichtlich sehr niedrig sein werden und die Anlagen umweltschonend betrieben werden können, sollten Fusionskraftwerke vorzugsweise im Grundlastbereich eingesetzt werden.

12. Von welcher Mindestblockgröße muß nach Kenntnis der Bundesregierung derzeit aufgrund technischer und ökonomischer Sachverhalte für ein Fusionskraftwerk ausgegangen werden?

Derzeit ist es noch nicht möglich, den genauen Wert anzugeben, bei dem eine Verringerung der Blockgröße eine unannehmbare Kostensteigerung zur Folge hätte. Dieser Wert hängt sowohl von vielen noch nicht bestätigten physikalischen und ingenieurmäßigen Entwurfsannahmen ab als auch vom Standort und der Art, in der das Fusionskraftwerk im elektrischen Netz betrieben wird. Auf der Grundlage von Extrapolationen, die von heutiger Physik und Technologie in einem Prototypreaktor kommerzieller Größe ausgehen, ergibt sich, daß der von einer Anlage mit 600 MW Ausgangsleistung erzeugte Strom etwa 80 Prozent teurer sein würde als bei einer 1 200 MW-Anlage. Mit einer 2 000 MW-Anlage wäre der Strom 30 Prozent billiger als bei einer 1 200 MW-Anlage. Mithin wäre eine Blockgröße von 600 MW schwer zu rechtfertigen, und die Mindestblockgröße z. B. für einen Tokamak-Reaktor liegt in der Nähe von 1 200 MW (Quelle: „Environmental impact and economic prospects of nuclear fusion", EURFU BRU/XII-826/86).

Die optimale Leistung eines Fusionsreaktors wird in erster Linie von der Anlagengröße und der damit verbundenen Degression der Kosten bestimmt werden. Der zunehmende Ausbau des europäischen Stromverbundnetzes und das leistungsfähige nationale Verbundnetz erlauben auch den wirtschaftlichen Einsatz großer Einheiten.

13. Welche Konsequenzen hätten Kraftwerksleistungen, die größer sind, als dies heute der Fall ist, für die notwendigen Reservehaltungskapazitäten?

Eine Kraftwerksleistung von 1 200 MW (vgl. 3.12) entspricht den derzeitigen maximalen Einheitsleistungen in der Bundesrepublik Deutschland, so daß sich keine besonderen Anforderungen an die Reservehaltung stellen und die gegenwärtigen Erfahrungen mit dem Kraftwerksnetz voll anwendbar sind. Allerdings dürften auch größere Einheitsleistungen angesichts der zunehmenden Integration des europäischen Stromverbundes im Rahmen des Binnenmarktes für die Reservehaltung keine Probleme aufwerfen.

14. Von welchen Angaben über den zu erwartenden nicht rezyklierbaren Materialverbrauch geht die Bundesregierung bei ihrer Bewertung der Kernfusion derzeit aus?

Als nicht rezyklierbar werden nur die Materialmengen angegeben, die beim Betrieb und bei der Stillegung/Abriß des Kraftwerks als Abfall anfallen. Zu den Abfallmengen wird in Abschnitt 2.13 Stellung genommen.

4. *Zur wissenschaftlichen und technischen Realisierbarkeit*

1. Die prinzipielle Eignung des Tokamaks für einen Fusionsreaktor wird von einigen Experten angezweifelt. Dies wird mit dem diskontinuierlichen Betrieb, der wartungsunfreundlichen, relativ kompakten Geometrie, aber auch mit spezifischen Plasmaeigenschaften begründet.

   Wie bewertet die Bundesregierung diese Aussagen?

Auf dem Weg zum Fusionsreaktor mit magnetisch eingeschlossenem Plasma hat sich das Tokamak-Konzept bewährt. Nach diesem relativ einfachen Prinzip wurden bisher die günstigsten Plasmaparameter in Experimentieranlagen erzielt, deren Dimensionen denen des Fusionsreaktors bereits sehr nahekommen. Diese Ergebnisse, die detaillierten Planungsarbeiten für die nächste Entwicklungsstufe (NET/ITER) und die Fusionsreaktorentwürfe zeigen, daß das Tokamak-Prinzip sich sehr wohl für den Fusionsreaktor eignet. Die angeführten Nachteile des Tokamaks können durch technische Maßnahmen und die Wahl der physikalischen Parameter überwunden werden. Der diskontinuierliche Betrieb kann z. B. durch das Stromtreiben, die stromgetriebenen Instabilitäten und Stromabbrüche können durch geeignete Wahl der Plasmaparameter vermieden werden, wie in den Experimenten bestätigt wird. Dennoch kann es sein, daß letztlich alternative Konzepte, wie z. B. der Stellarator, die die genannten Nachteile grundsätzlich nicht aufweisen, zu besseren Lösungen führen. Deshalb werden solche Konzepte parallel zum Tokamak untersucht.

2. Wie bewertet die Bundesregierung Aussagen, wonach alternative Konzepte (Stellarator, R. F. Pinch u. a.) noch schwierigere physikalische und technische Probleme beinhalten, insbesondere auch in der grundlegenden Frage der Leistungsbilanz eines Fusionskraftwerks?

Alternative Konzepte von Fusionskraftwerken, die keine günstige Leistungsbilanz in Aussicht stellen, werden nicht verfolgt. Deswegen wurden die Arbeiten an dem vermeintlich technisch einfachen Konzept der Spiegelmaschine schon frühzeitig in Europa und inzwischen auch in den USA eingestellt. Der Stellarator verspricht dagegen wegen des guten Energieeinschlusses, insbesondere in seiner für die Magnetfeldkonfiguration optimierten Version, eine vergleichbar gute Leistungsbilanz wie der Tokamak. Durch die Verwendung spezieller Magnetfeldspulen benötigen Stellaratoren, da sie das einschließende Magnetfeld ohne

Plasmastrom aufbauen, keine Anlagen zur Herstellung und Regelung des Stroms und haben dadurch möglicherweise technische Vorteile. Im Gegensatz zum Tokamak können bei Stellaratoren keine Stromabbrüche auftreten, das Plasma wird ohne Regelung im Gleichgewicht gehalten und Stellaratoren sind damit inhärent für Dauerbetrieb geeignet. Wegen dieses kontinuierlichen Betriebes tritt beim Stellarator die Problematik der zyklischen mechanisch-thermischen Belastung der ersten Wand von vornherein nicht auf (vgl. Frage 1.21).

Falls sich also beim Tokamak die Probleme des Stromtreibens und der Stromabbrüche (vgl. Frage 4.1) nicht zufriedenstellend lösen lassen, ließe sich auch das bisher noch nicht so weit entwickelte Stellaratorkonzept für einen Fusionsreaktor mit kontinuierlichem, thermonuklearen Brennen vorsehen. Die für den prioritär vorangetriebenen Tokamak (NET, ITER) entwickelte Reaktortechnologie ließe sich dann auch auf den Stellarator direkt übertragen.

Vom Reversed Field Pinch (R.F. Pinch) erwartet man wegen seiner günstigen Stabilitätseigenschaften hohe Werte für das Verhältnis von Plasmaenergie zu magnetischer Energie und deswegen eine günstige Leistungsbilanz. Er ist jedoch ein kurz gepulstes System und daher für einen kontinuierlichen energieerzeugenden Betrieb weniger geeignet. Versuche zum R.F. Pinch werden in Großbritannien und Italien, nicht aber in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt.

3. Sieht die Bundesregierung nach ihrem derzeitigen Kenntnisstand eine positive Leistungsbilanz insbesondere bei den Konzepten des Trägheitseinschlusses für erreichbar an, wenn ja, aufgrund welcher experimenteller Ergebnisse?

Eine positive Leistungsbilanz hängt von der Erreichbarkeit genügend hoher Werte 1. des Energiegewinnungsfaktors (Energy Gain) und 2. des Wirkungsgrades des Treibers ab (Laser oder Teilchenbeschleuniger). Beides erscheint aufgrund heutiger experimenteller und theoretischer Erkenntnisse nicht ausgeschlossen.

4. Entgegen vielen Vorhersagen haben die Forschungen zur thermonuklearen Fusion mit magnetischem Einschluß ihr Ziel bis heute nicht erreicht.

   Wie bewertet die Bundesregierung wissenschaftliche Aussagen, wonach eine „unvollständige magnetohydrodynamische Theorie des Plasmas" hierfür ursächlich ist (Quelle: E. A. Witalis in Kerntechnik, Bd. 53–2, 1988)?

Die Forschungen zur thermonuklearen Fusion mit magnetischem Plasmaeinschluß haben in den letzten Jahren stetig große Fortschritte in Richtung auf den Zustand eines thermonuklearen brennenden Plasmas gemacht. Die angeführte „wissenschaftliche Aussage" ist unrichtig, da die als Quelle genannte Arbeit fehlerhaft ist.

5. Welche Schlüsselprobleme sieht die Bundesregierung bezüglich der „physikalischen Machbarkeit"?

Als Schlüsselprobleme zur „physikalischen Machbarkeit" der thermonuklearen Fusion mit magnetischem Plasmaeinschluß stehen vor allem der Energieeinschluß im Plasma, die Kontrolle der Plasmaverunreinigung und die Plasma-Wand-Wechselwirkung bei Reaktorbedingungen im Vordergrund der experimentellen und theoretischen Arbeiten. Daneben werden intensive Untersuchungen zur Plasmaaufheizung durch die Neutralteilchen-Injektion und die Einkopplung hochfrequenter Wellen sowie zu den Problemkreisen der Grenzen von Plasmadichte, des Verhältnisses von Plasmadruck und Magnetfelddruck und den Eigenschaften der Alphateilchenheizung durchgeführt. Mit zunehmendem Verständnis des Plasmaverhaltens wird es dabei möglich, das Plasma immer näher an den Zustand des thermonuklearen Brennens zu bringen.

Im fließenden Übergang zur nächsten Entwicklungsstufe mit quasi stationärem thermonuklearem Brennen sind die zusätzlichen Probleme der Helium-Asche-Abfuhr und die hohe Wärmebelastung der Brennkammer-Komponenten sowie deren Erosion durch das Plasma zu erforschen.

Schließlich kann erforderlich werden, Verfahren zur Vermeidung von Plasmastrom-Abbrüchen (Disruptionen) und zu echtem Dauerbetrieb (nicht-induktives Stromtreiben) zu entwickeln bzw. Systeme, wie den Stellarator auf ihre Reaktoreignung hin zu untersuchen.

6. Welche Schlüsselprobleme sieht die Bundesregierung bezüglich der „technischen Machbarkeit"?

Die wichtigsten Aufgabenfelder auf dem Wege zur „technischen Machbarkeit" sind: supraleitende Magnete, Tritiumhandhabung, Struktur- und Erste-Wand-Werkstoffe, Blanket (Tritiumbrüten, Wärmeauskopplung, Abschirmung) und Fernbedienung.

Übergreifend ist das integriert zu behandelnde Thema „Sicherheit und Umwelteinflüsse" zu untersuchen.

7. Mittels welcher Maßnahmen sollen nach Kenntnis der Bundesregierung die Strahlenschäden in der ersten Wand und im Blanket-Bereich in den Griff bekommen werden?

Bei der Wechselwirkung von Strahlung (Neutronen) mit Materie handelt es sich meistens um elastische Stöße, bei denen die Atome aufgrund ihrer natürlichen thermischen Bewegung auf ihren ursprünglichen Platz im Festkörper zurückkehren („Ausheilung"). Nicht ausheilbare Strahlenschäden entstehen durch Kernumwandlung, wobei insbesondere die leichten Sekundärprodukte (z. B. Wasserstoff, Helium) wichtig sind. Von diesen ist Helium problematisch, wenn es in größeren Mengen in metallischen Werkstoffen erzeugt wird.

Die Maßnahme zur Beherrschung dieser Art von Strahlenschäden besteht in der Auswahl solcher metallischer Werkstoffe für die erste Wand und Blanket-Strukturen, die

a) wenig Helium erzeugen,

b) die Vereinigung von Heliumatomen zu Blasen unterdrücken.

Für Brutstoffe ist der Festigkeitsverlust von untergeordneter Bedeutung, da Brutwerkstoffe keine tragende Funktion haben.

8. Wie bewertet die Bundesregierung Aussagen, wonach in diesem Zusammenhang diskutierte neuartige Werkstoffe (unter Verwendung von Beryllium, Blei, Molybdän und Vanadium) durch geringe Rohstoffverfügbarkeiten (z. T. unter 50 Jahren) nicht zur Lösung der Probleme beitragen werden können?

Angaben über die Verfügbarkeit von Rohstoffen beruhen auf der „statischen Lebensdauer", die vom jeweils herrschenden Rohstoffpreisniveau und vom Kenntnisstand bei der Rohstoffexploration abhängig ist. Zahlreiche Lagerstätten, für die ein Abbau bei derzeitigen Rohstoffpreisen nicht in Frage kommt, bleiben bei der Berechnung der statischen Lebensdauer von Rohstoffreserven unberücksichtigt.

Eine Verknappung der Rohstoffe Beryllium, Blei, Molybdän und Vanadium, durch die die Anwendung der Fusionstechnologie behindert oder eingeschränkt werden könnte, ist aus heutiger Sicht nicht zu erwarten. Die angegebenen Metalle werden zudem als untergeordnete Legierungsbestandteile von Stählen bzw. als Basiselement in Legierungen für Bauteile mit überschaubaren Abmessungen nur in begrenzten Mengen benötigt. Vanadium kann darüber hinaus wegen seiner geringen Radioaktivierung beim Reaktorbetrieb nach einigen Jahren Abklingzeit wiederverwendet werden.

9. Wie bewertet die Bundesregierung Aussagen von Experten, wonach im Schlüsselbereich „Materialbelastung durch Neutronenbeschuß" die „Forschungssituation dadurch gekennzeichnet ist, daß die erforderlichen Neutronenquellen mit genügend hoher Flußstärke nicht existieren", sondern lediglich für Niederdosisexperimente zeitweise Experimentiermöglichkeiten bestehen (Quelle: AGF-Forschungsthemen, Heft 1, 1988, FUSION)?

Mit den zur Verfügung stehenden Materialtestreaktoren im Zusammenspiel mit Teilchenbeschleunigern lassen sich die wesentlichen Aspekte des Bestrahlungsverhaltens von Werkstoffen für die Kernfusion untersuchen. Darüber hinaus laufen Bemühungen zur Verwirklichung einer international gemeinsam zu betreibenden und zu nutzenden intensiven Neutronenquelle.

10. Dem derzeitigen Planungsstand nach sollen die erste Wand und das Blanket eines Fusionskraftwerkes aufgrund der hohen Beanspruchungen mehrmals während der Betriebsdauer des Reaktors ausgetauscht werden. Dies muß aufgrund der radioaktiv aktivierten Materialien automatisiert erfolgen.

    Aufgrund welcher experimenteller Ergebnisse sieht die Bundesregierung Grund zu der Annahme, daß diese hochkomplizierten Arbeiten an der innersten Reaktorstruktur und den entsprechenden Einbauten automatisiert erfolgen können?

Wegen der radioaktiven Strahlung muß der Austausch von erster Wand und Blanket fernbedient, aber nicht automatisiert erfolgen. Bei der Entwicklung einer solchen Fernbedienungstechnik kann man auf umfangreiche Erfahrungen im Bau und Betrieb von Heißen Zellen in kerntechnischen Anlagen aufbauen. Für die Fusionsexperimente TFTR (Princeton, USA) und JET wurden Einrichtungen entwickelt, die es gestatten, Reparatur- und Wartungsaufgaben außerhalb und innerhalb der Brennkammer fernbedient durchzuführen. Die besonderen Bedingungen von NET werden im europäischen Fusionstechnologieprogramm berücksichtigt. Dieses beinhaltet sowohl die Entwicklung von fernbedienten Handhabungsgeräten als auch die Erprobung von Verbindungstechniken, die für eine Fernhantierung geeignet sind. Referenzen hierzu sind zu finden in:

(1) C. Holloway, E. Salpietro: Maintenance Concepts for NET. IAEA Technical Committee Meeting on Robotics and Remote Maintenance Concepts for Fusion Machines. Karlsruhe, 22.–24. February 1988, IAEA-TECDOC-495.

(2) M. Chazalon et al.: Next European Torus Assembly and Maintenance.
Fusion Technology, Vol. 14, No. 1, July 1988, pp. 156–164.

(3) P. Leister et al.: Großkomponenten der FEMO-Technik in der Erprobung. Jahrestagung Kerntechnik 1988, Fachsitzung: Entwicklung für die Wiederaufarbeitungsanlage Wackersdorf und aktueller Planungsstand, Juni 1988.

5. *Zur militärischen Nutzung und Proliferation*

1. Stimmt die Bundesregierung Aussagen zu, wonach aufgrund des Vorhandenseins schneller Neutronen im Blanket-Bereich eines Fusionskraftwerkes prinzipiell die Möglichkeit besteht, hierin kernwaffentaugliche Isotope in großen Mengen herzustellen?

Diese Möglichkeit ist im Prinzip gegeben; eine solche Herstellung wäre aber sehr leicht erkennbar, da sie besondere Einrichtungen für diesen Zweck (spezielle Blankets) erfordert. Der im europäischen Fusionsprogramm geplante Fusionsreaktor sieht solche Einrichtungen nicht vor.

2. Teilt die Bundesregierung die Meinung, daß die Gefahren einer weiteren Proliferation von kernwaffentauglichem Material bzw. von Technologien zu deren Gewinnung durch den zukünftigen Einsatz der Kernfusion erhöht werden?

Nein, denn beim Fusionsreaktor und dem vorgesehenen D-T-Prozeß wird nur soviel Tritium im Blanket aus Lithium erbrütet, wie als Brennstoff im internen Kreislauf erforderlich ist.

3. Werden nach Meinung der Bundesregierung durch den potentiellen weltweiten Einsatz der Fusionstechnologie die Kenntnis und die Technologie thermonuklearer Sprengköpfe in bedenklicher Form verbreitert, wenn nein, warum nicht?

Nein. Die Fusion mit magnetischem Plasmaeinschluß läuft in ganz anderen Parameterbereichen ab als in thermonuklearen Sprengköpfen.

4. Wurden bzw. werden in der Bundesrepublik Deutschland Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Hybrid-Fusionstechnologie durchgeführt, wenn ja, wo und welche?

5. Sind der Bundesregierung Pläne innerhalb der Europäischen Gemeinschaft zur Forschung und Entwicklung von Hybrid-Fusionsreaktoren bekannt, wenn ja, welche?

6. Plant die Bundesregierung, derartige Arbeiten in der Zukunft zu unterstützen bzw. sich daran zu beteiligen, wenn ja, unter welchen Bedingungen?

In der Bundesrepublik Deutschland werden hierzu keine Arbeiten durchgeführt oder geplant; dies gilt auch für das europäische Fusionsprogramm.

7. Wie bewertet die Bundesregierung die potentielle militärische Nutzbarkeit der Forschungsarbeiten zur Laserfusion (Trägheitsfusion)?

Für Kernwaffenstaaten liegt ein potentieller militärischer Nutzen der Laserfusion darin, daß physikalische Daten für die Weiterentwicklung von Kernwaffen gewonnen sowie die Auswirkung starker Strahlung auf militärisches Gerät simuliert werden kann. Beides erfolgt im Labormaßstab.

In der Bundesrepublik Deutschland werden lediglich Arbeiten der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Trägheitsfusion (Physik der hochverdichteten Materie) durchgeführt. Sie dienen dazu, die weltweite Entwicklung zu ihrer friedlichen Nutzung zu beobachten. Eine militärische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland ist ausgeschlossen. Die Ergebnisse dieser Forschung werden grundsätzlich veröffentlicht.

Anlage

Literaturliste vorliegender Analysen:

Generelles:

E. Münch (Hrsg.):
Tatsachen über Kernenergie, Verlag W. Girardet, 3. Auflage, 1983

H. Michaelis:
Handbuch der Kernenergie, Band 1 und 2, ECON-Verlag, 1986

H. Barnert et al.:
Nutzen und Risiko der Kernenergie, Jül-Conf-17, 6. Auflage, 1986

Umweltverträglichkeit:

P. Borsch et al.:
Kerntechnik und Gesundheit, Verlag W. Girardet, 1988

G. Kolb et al.:
Co_2-Reduction Potential through Rational Energy Utilization and Use of Renewable Energy Sources in the Federal Republic of Germany, Jül-Spez-502, May 1989

Sozialverträglichkeit:

W. Häfele et al. (Hrsg.):
Sozialverträglichkeit von Energieversorgungssystemen, HTV Edition.

Teilberichte:

- H. Jungermann et al. (Hrsg.)
  Die Analyse der Sozialverträglichkeit für Technologiepolitik, 1986
- A. Stegelmann (Hrsg.):
  Energie im Brennpunkt, 1984
- Dienel, Garbe (Hrsg.):
  Zukünftige Energiepolitik, 1985

Langfristige Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit:

D. Sievert et al.:
Stromerzeugungskosten in Kohle- und Kernkraftwerken, Jül-Spez-223 1983

VDEW:
Stromerzeugungskostenvergleich 1990 in Betrieb gehender großer Kern- und Steinkohle-Kraftwerksblöcke, Frankfurt 1987

UNIPEDE/G. Moynet:
Electricity Generation Costs Assessment made in 1987 for Stations to be Commissioned in 1995, Sorrento-Congress 1988

OECD-NEA/IEA:
Projected Costs of Generating Electricity from Power Stations for Commissioning in the Period 1995–2000, Paris, Draft Dec. 1988

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Essen:
Qualitative und quantitative Abschätzung der kurz- und langfristigen Wirkungen eines Verzichts auf Kernenergie, 1986

Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung, Jülich:
Folgewirkungen eines Ausstiegs aus der Kernenergie, 1986

Institut für angewandte Systemforschung und Prognose e.V., Hannover:
Zwei Szenarien zum Ausstieg aus der Kernenergie – Modifikation und Aktualisierung der Studie „Ökologische gegen betriebswirtschaftliche Optimierung der öffentlichen Stromerzeugung in der Bundesrepublik" vom Oktober 1984, 1986

ÖKO-Institut, Institut für angewandte Ökologie e.V., Freiburg, und Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH, Berlin:
Qualitative und soweit möglich quantitative Abschätzung der kurz- und langfristigen Wirkungen eines Ausstiegs aus der Kernenergie, 1986

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin:
Möglichkeiten und Konsequenzen eines Ausstiegs aus der Kernenergie, 1987

ifo-Institut für Wirtschaftsforschung, München:
Energie- und volkswirtschaftliche sowie ökologische Folgen eines sofortigen oder schrittweisen Verzichtes auf Strom aus Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland unter besonderer Berücksichtigung von Bayern, 1987

PROGNOS AG, Europäisches Zentrum für angewandte Wirtschaftsforschung, Basel:
Rationelle Energieverwendung und -erzeugung ohne Kernenergienutzung: Möglichkeiten sowie energetische, ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen, 1987

Arbeitsgemeinschaft Energie- und Systemplanung, Oldenburg:
Strombedarfsdeckung in der Bundesrepublik Deutschland mit und ohne Kernenergie, 1987

B. Schefold, Wiesbaden:
Szenarien zum Ausstieg aus der Kernenergie, 1987

A. Voß, Universität Stuttgart (Projektleitung):
Perspektiven der Energieversorgung, Möglichkeiten der Umstrukturierung der Energieversorgung Baden-Württembergs unter besonderer Berücksichtigung der Stromversorgung, 1987

C.J. Winter, J. Nitsch (Hrsg.):
Wasserstoff als Energieträger: Technik, Systeme, Wirtschaft, Springer Verlag 1986

DIW-ISI: Erneuerbare Energiequellen:
Abschätzung des Potentials in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2000; R. Oldenbourg Verlag 1987

M. Kleemann, M. Meliß:
Regenerative Energiequellen; Springer Verlag 1988

D. Strese, J. Schindler:
Kostendegression Photovoltaik. Stufe 1: Fertigung multikristalliner Solarzellen und ihr Einsatz im Kraftwerksbereich, Forschungsbericht 03288 30A für das BMFT, Mai 1988

Siemens AG:
Photovoltaik (PV) – eine Stellungnahme zu den Kosten für die großtechnische Fertigung kristalliner PV-Module und die Stromerzeugung aus PV-Kraftwerken, März 1988

Öko-Institut Freiburg im Auftrag der GRÜNEN im Deutschen Bundestag: Das grüne Energiewende-Szenario 2010, Bonn, Juli 1988

Dechema:
Untersuchungen zur Erzeugung, zum interkontinentalen Transport und zur Verwendung des sauberen Energieträgers Wasserstoff auf der Basis großer und billiger Wasserkraftpotentiale (Wasserstoffpilotprojekt Kanada), Schlußbericht: Frankfurt, Juni 1987

Nettoenergiebilanzen:

G. Kolb et al.:
Der Energieaufwand für den Bau und Betrieb von Kernkraftwerken, Jül-1230, August 1975

H.-J. Wagner:
Der Energieaufwand zum Bau und Betrieb ausgewählter Energieversorgungstechnologien, Jül-1561, Dez. 1978

R. Bünde:
The Potential Net Energy Gain from DT Fusion Power Plants, Nuclear Engineering and Design/Fusion 3, 1985

Große Schadenspotentiale, Mißbrauchmöglichkeiten:

F. Niehaus (IAEA):
Prospects for Use of Probabilistic Safety Criteria, 1988

Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Verlag TÜV Rheinland, 1980
Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke, Phase B, erscheint Anfang 1990

Deutscher Bundestag:
International Nuclear Fuel Cycle Evaluation (INFCE), Drucksache 8/3968, 1980



Druck: Thenée Druck KG, 5300 Bonn, Telefon 23 19 67
Alleinvertrieb: Verlag Dr. Hans Heger, Postfach 20 13 63, Herderstraße 56, 5300 Bonn 2, Telefon (02 28) 36 35 51, Telefax (02 28) 36 12 75
ISSN 0722-8333